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

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK100+000 au PK111+475 avec conception de la gare de Laghouat.

Présenté par :

MAGRI-ELOUADJERI Abdelkader

Encadré par :

Mr. Allioua Badis

Promotion 2022 / 2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIMENT

Je tiens avant tout à exprimer mes parfaits remerciements et gratitudes à ALLAH le plus puissant qui nous a donné la force, le courage la volonté pour terminer ce travail.

Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce projet et en particulier mon encadreur Mr. Allioua Badis pour ses appréciations compétente, sec précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Je remercier aussi le groupe de Cosider T125 pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage.

Nous remercions tous les enseignants de l'ENSTP qui nous ont formés durant notre cursus. Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicace

A mes chers parents, Pour les nombreux sacrifices consentis, leur disponibilité inébranlable et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire, je suis profondément reconnaissant envers mes chers parents.

A mes sœurs et mon frère, et ma famille pour leur appui et leur encouragement.

A tous mes cousins, mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

À l’ensemble des étudiants de ma promotion

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l’étude avant-projet détaillé (A.P.D) d’un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat (tronçon du Pk100+000 au Pk 111+475), avec conception de la gare de Laghouat.

Ce projet a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la société national ferroviaire (SNTF). Les logiciels de modélisation et de calcul utilisé dans le projet sont : Autocad-Covadis 16.0, Hyrcan 2.0.

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (APD) لجزء من خط السكة الحديدية الجديد الرابط الجلفة - الأغواط (المقطع من Pk100 + 000 إلى Pk 111 + 475). مع تصميم محطة الأغواط.

تم تنفيذ هذا المشروع وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للسكك الحديدية (SNTF). برامج النمذجة والحساب المستخدمة في المشروع هي: -Autocad Covadis 16.0، Hyrcan 2.0.

Abstract

This project is mainly to study detailed design (APD) of a section of the new railway line Dejlfa-Laghouat (the section from Pk100+000 to Pk 111+475), with design of the Laghouat station.

This project was realized according to International Railway Union standards (UIC) and the Algerian national railway company recommendations of the (SNTF). Modeling softwares used un this project are: Autocad-Covadis 16.0, Hyrcan 2.0.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Chemins de fer En Algérie 1830-1962. 3
Figure I-2 : Les réseaux ferroviaires Algériens. 4
Figure II-1 : Localisation de la Wilaya de Djelfa. 6
Figure II-2 : Localisation de la Wilaya de Laghouat. 7
Figure II-3 : Situation de la zone d'étude. 8
Figure III-1 : Le rail Vignol. 10
Figure III-2 : Rail de type 60-E1 11
Figure III-3 : Traverse en bois. 12
Figure III-4 : Traverse en acier. 12
Figure III-5 : Traverse monobloc. 13
Figure III-6 : Traverse bi-bloc. 13
Figure III-7 : Système d'attache Nabla. 14
Figure III-8 : Système d'attache VOSSLOH. 14
Figure III-9 : Système d'attache PANDROL FASTCLIP. 14
Figure III-10 : les éléments du branchement. 15
Figure III-11 : Traversée-jonction simple. 15
Figure III-12 : Traversée-jonction double. 15
Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan. 18
Figure IV-2 : Calcul des différents paramètres pour chaque rayon. 21
Figure V-1 : Déclivités maximale admissible (Source sntf). 23
Figure VI-1 : Carte de situation de la région d'étude. 25
Figure VI-2 : Délimitation des bassins versants. 26
Figure VI-3 : Fossé de forme trapézoïdale. 32
Figure VI-4 : Type de fossé adopté pour notre projet 33
Figure VII-1 : Géographie de l´Algérie (carré rouge : tracé). 34
Figure VII-2 : Des encroûtements calcaires. 36
Figure VII-3 : Accumulations sableuses. 36
Figure VII-4 : Zones de sismicité. 37

Figure VIII-1 : Structure d'assise ferroviaire. 46
Figure VIII-2 : Les épaisseurs des couches d'assise. 48
Figure X-1 : Etude de stabilité de talus deblais (Cas statique) 54
Figure X-2 : Etude de stabilité de talus deblais (Cas de séisme) 54
Figure X-3 : Etude de stabilité de talus remblais (Cas statique). 56
Figure X-4 : Etude de stabilité de talus remblais (Cas de séisme). 56
Figure X-5 : Remblai en zones inondables avec noyau et enveloppe. 57
Figure XI-1 : Schématisation de la marge de glissement. 60
Figure XI-2 : Schéma illustratif de garage franc. 61
Figure XI-3 : Un heurtoir. 61
Figure XI-4 : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie. 62
Figure XI-5 : Schéma illustratif. 63
Figure XI-6 : Schéma de l'appareil de voie. 64
Figure XI-7 : Dimensions de la passerelle selon la norme SNTF. 65
Figure XII-1 : Block automatique lumineux. 67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III-1 : Caractéristique des composant de la voie étudiée. 16
Tableau IV-1 : Vitesse des trains maximale. 18
Tableau IV-2 : Paramètres géométriques de trace en plan (SNTF). 18
Tableau V-1 : les longueurs minimales des éléments de profile en long. 23
Tableau V-2 : Valeurs de rayon vertical minimal. 23
Tableau VI-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants : 27
Tableau VI-2 : Pluies journalières maximales fréquentielles. 27
Tableau VI-3 : Résultats de calcul de débits. 28
Tableau VI-4 : Dimensionnement des buses. 30
Tableau VI-5 : Dimensionnement des dalots. 31
Tableau VI-6 : Calcul de débit de saturation des fossés en fonction de leurs dimensions. 32
Tableau VI-7 : Caractéristique de la zone de remblais prise. 32
Tableau VI-8 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai. 32
Tableau VII-1 : Chronostratigraphie de la région avec la référence sur des roches et du tracé. 36
Tableau VII-2 : Coefficients d'accélération. 37
Tableau VII-3 : Essai et leur objectif. 38
Tableau VII-4 : Objectif des différant essai au laboratoire. 38
Tableau VII-5 : 2 Programme d'investigation de Lot tracé. 39
Tableau VII-6 : Programme d'investigation de Lot ouvrage. 40
Tableau VII-7 : Descriptions des puits de reconnaissance. 41
Tableau VII-8 : Résultats des essais de laboratoire. 43
Tableau VII-9 : Les résultats des essais SPT. 43
Tableau VII-10 : Résultat essai pressiométrique : 44
Tableau VII-11 : La classification du sol selon l'UIC. 44
Tableau VIII-1 : Classification de portance des plateformes selon UIC719R. 48
Tableau VIII-2 : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R). 49
Tableau VIII-3 : Dimensionnement de la couche d'assise. 49
Tableau VIII-4 : Structure de la voie. 50
Tableau IX-1 : Les cubatures de terrassement. 52
Tableau X-1 : Caractéristique des déblais. 53
Tableau X-2 : Caractéristique de sol en zone de déblai. 53
Tableau X-3 : Valeurs minimaux des facteurs de sécurité. 54
Tableau X-4 : Résultat d'étude de stabilité. 54
Tableau X-5 : Caractéristique des remblais. 55
Tableau X-6 : Caractéristique de sol en zone de remblais. 55
Tableau X-7 : Valeurs minimaux des facteurs de sécurité. 56
Tableau X-8 : Résultat d'étude de stabilité. 56
Tableau X-9 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet. 58
Tableau XI-1 : les caractéristiques d'appareils de voie. 64
Tableau XII-1 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication. 67
Tableau XII-2 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication. 69

Sommaire

Introduction generale : 1

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.1 Introduction : 2
I.2 Réseau ferroviaire en Algérie : 2
I.2.1 Histoire des chemins de fer en Algérie : 2
I.3 Avantage des chemins de fer : 5
I.4 Conclusion : 5

Chapitre II : Présentation du projet.

II.1. Introduction : 6
II.2. Présentation du site : 6
II.2.1. Présentation de la wilaya de Djelfa : 6
II.2.2. Présentation de la wilaya de Laghouat : 7
II.3. Description du projet : 8
II.4. Caractéristique du projet : 9
II.5. Conclusion : 9

Chapitre III : Superstructure de la voie.

III.1. Introduction : 10
III.2. Composant de la voie ferre : 10
III.2.1. Rail : 10
III.2.2. Assemblage des rails : 11
III.2.3. Les traverses : 12
III.2.4. Attaches travers-rail : 13
III.2.5. Appareils de voie : 14
III.3. Caractéristique de la voie étudiée : 16

Chapitre IV : Tracé en plan.

IV.1. Introduction : 17
IV.2. Condition et règle à respecter dans le tracé en plan : 17
IV.3. Elément de tracé en plan : 17
IV.4. Caractéristiques géométriques : 18

IV.4.1. Devers théorique (d_{th}) : 19
IV.4.2. Devers pratique (d_p) : 19
IV.4.3. L'insuffisance de devers : 19
IV.4.4. L'excès de devers : 19
IV.4.5. Gauchissement et variation de devers : 19
IV.4.6. Longueur de la clothoïde : 20
IV.5. Application au projet : 20

Chapitre V : Profil en long.

V.1. Introduction : 22
V.2. Règle à respecter dans le tracé du profil en long : 22
V.3. Éléments géométriques du profil en long : 22
V.3.1. Déclivités : 22
V.3.2. Longueur minimale des éléments du profil : 23
V.3.3. Rayon admissible en raccordements de profil en long : 23
V.4. Application au projet : 24

Chapitre VI : Étude hydrologique et hydraulique.

VI.1. Etude hydrologique : 25
VI.1.1. Description de la région : 25
VI.1.2. Caractéristique des bassins versants dans la région : 25
VI.1.3. Donné Pluviométrique : 27
VI.1.4. Détermination du débit de crue : 27
VI.2. Etude hydraulique : 29
VI.2.1. Estimation des débits de saturation des ouvrage hydrauliques : 29
VI.2.2. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux : 29
VI.2.3. Dimensionnement des fossés : 31
VI.3. Conclusion : 33

Chapitre VII : Etude géologique et géotechnique.

VII.1 Etude géologique : 34
VII.1.1 Géologie de l'Algérie : 34
VII.1.2 Cadre géomorphologique et géologique de la région : 34
VII.1.3 Sismicité : 36
VII.2 Etude géotechnique : 37
VII.2.1 Introduction : 37

VII.2.2 Programme d'investigation géotechnique : 37
VII.2.3 Résultat et interprétation : 41
VII.2.1 Classification du sol support selon l'UIC719R : 44
VII.3 Conclusion : 45

Chapitre VIII : Assise ferroviaire.

VIII.1. Introduction : 46
VIII.2. Couche de Ballast : 46
VIII.2.1. Rôle de ballast : 46
VIII.2.2. Caractéristique de ballast : 46
VIII.3. Sous couche : 46
VIII.3.1. Rôle de la sous-couche : 47
VIII.4. Plateforme : 47
VIII.4.1. Classification des sols pour la plateforme : 47
VIII.4.2. La classe de portance de la plateforme : 47
VIII.5. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : 48
VIII.6. Application au projet : 49
VIII.7. Conclusion : 50

Chapitre IX : Profil en travers.

IX.1 Introduction : 51
IX.2 Les éléments du profil en travers : 51
IX.2.1 Eléments de superstructure : 51
IX.2.2 Éléments d'infrastructures : 51
IX.2.3 Éléments du talus : 51
IX.2.4 Eléments d'assainissement : 51
IX.3 Profil type de notre projet : 51
IX.3.1 Pleine voie : 51
IX.3.2 Pont ferroviaire : 52
IX.4 Calcule des cubatures : 52

Chapitre X : Terrassement et ouvrages d'art.

X.1 Terrassement : 53
X.1.1 Déblais : 53
X.1.2 Remblais : 55
X.1.3 Protection des talus : 57

X.2 Ouvrage d'art : 57
X.2.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage : 57
X.2.2 Croisement avec une route : 58
X.2.3 Les ouvrage d'art de notre projet : 58

Chapitre XI : Conception de la gare Laghouat.

XI.1 Introduction : 59
XI.2 Aménagement de la gare : 59
XI.2.1 Installations d'une gare à voyageur : 59
XI.2.2 Marge de glissement à l'aval des signaux : 60
XI.2.3 Garage franc : 60
XI.2.4 Heurtoir : 61
XI.3 Caractéristiques géométriques des gares : 61
XI.3.1 La longueur utile d'une voie de stationnement : 61
XI.3.2 Déclivité dans les gares : 61
XI.3.3 Quais : 61
XI.3.4 Les appareils de voie : 62
XI.4 Application au projet : 63
XI.5 Assainissement de la gare : 65
XI.5.1 Assainissement transversale : 65
XI.5.2 Assainissement longitudinal : 65

Chapitre XII : Signalisation ferroviaire.

XII.1 Introduction : 66
XII.2 Les objectifs de la signalisation : 66
XII.3 Les signaux : 66
XII.3.1 Types de signalisation : 66
XII.3.2 Fonctions des signaux : 66
XII.3.3 Implantation des signaux : 66
XII.4 Les blocks : 67
XII.5 Définition du système ERTMS : 70
XII.6 Conclusion : 70

Chapitre XIII : Etude d'impact sur l'environnement.

XIII.1. Introduction : 71
XIII.2. Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement : 71

XIII.3. Description de la zone d'étude : 71
XIII.3.1. Milieu naturel : 71
XIII.3.2. Milieu humain : 71
XIII.3.3. Milieu Biologique : 72
XIII.4. Identification et description des impacts : 72
XIII.4.1. Les impacts négatifs : 72
XIII.4.2. Impacts positifs : 73
XIII.5. Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts : 74
XIII.5.1. Mesures applicables pour le chantier : 74
XIII.5.2. Lutte contre l'érosion 74
XIII.5.3. Végétalisation 74
XIII.5.4. Mesures préconisées pour la protection de la faune 74
XIII.5.5. Mesures contre le bruit : 74
XIII.5.6. Mesure sur les eaux superficielles et les eaux souterraines : 75
XIII.5.7. Milieu humain : 75
XIII.6. Conclusion : 75

Chapitre XIV : Devis estimatif et quantitatif.

Conclusion generale. 78

Bibliographie.

Annexes.

Introduction générale.

Introduction générale :

L’infrastructure de transport joue un rôle crucial dans la connectivité et la mobilité d'un pays ou d'une région. Elle comprend une variété d'infrastructures physiques adaptées aux différents modes de transport. L'amélioration et la modernisation de cette infrastructure sont essentielles pour répondre aux besoins de plus en plus complexes du transport des personnes et des marchandises, tout en favorisant le développement économique et en assurant la durabilité environnementale.

Pour ce le développement que connait le transport ferroviaire en Algérie se constate dans la réalisation du projet de la ligne ferroviaire reliant les villes de Djelfa et Laghouat sur une distance de 110 km.

Dans ce contexte, on s'intéresse à l'étude APD de la liaison ferroviaire reliant Djelfa à Laghouat du Pk 100+000 au Pk 111+475. Notre travail s'articule sur les aspects principale suivants :

- L'étude géométrique, cette partie permet de désigner les caractéristiques géométriques nécessaires selon les normes spécifiques utilisée pour ce contexte tel qu'UIC (Union international des chemins de fer), SNCF (société nationale des chemins de fer) et SNTF (société nationale de transport ferroviaire), Dans cette partie on a passé par trois chapitres principales le tracé en plan, profil en long et profil en travers, on respecte tous les exigences techniques des normes.
- L’étude hydrologique et assainissement, dans cette partie on détermine les bassin versants pour dimensionner des exutoires a but d’évacuer les eaux de précipitation sur le long de tracé.
- La reconnaissance géotechnique, cette partie permet d’identifier la stratification du sol support et de donner les caractéristiques géotechniques des différentes couches rencontrées, à partir des essai in situ et des essais au laboratoire.
- Phase Terrassement et ouvrage d'art. Le terrassement s'intéresse à identifier les caractéristiques des matériaux utilisé pour la construction du remblai, les pentes des talus et la couche d’assise. Ouvrage d’art consiste à proposer une conception adaptée au site.
- Conception de la gare Laghouat, cette phase consiste à proposer une conception adaptée au site, s’effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent et répond au tout besoins.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I Recherche bibliographique.

I.1 Introduction :

Le chemin de fer est un système de transport qui utilise des rails pour permettre le déplacement de trains et de wagons. Depuis son invention au début du XIXe siècle, le chemin de fer a joué un rôle essentiel dans le développement économique, social et culturel de nombreux pays à travers le monde. Il englobe le métro, le tramway et la voie ferrée. En Algérie le transport ferroviaire a fait ses débuts à la fin du XIXe durant la colonisation française de L'Algérie.

Aujourd'hui, le chemin de fer en Algérie continue de jouer un rôle vital dans la mobilité des personnes et des marchandises. Il permet de relier les différentes villes du pays de manière efficace et offre une alternative de transport fiable et durable.

I.2 Réseau ferroviaire en Algérie :

Le réseau des chemins de fer algérien a fait son apparition au milieu du XIX^{ème} siècle (19ème-siècle). Commence en 1857 durant la colonisation française de l'Algérie avec la construction de 5 014 km de voies ferrées. Depuis l'indépendance du pays, ce réseau a beaucoup évolué : déclassement de tronçons, construction de nouvelles lignes, doublement de voies, électrification de certains tronçons. Sa longueur est de 4 498 km. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire.

I.2.1 Histoire des chemins de fer en Algérie :

I.2.1.1 Période coloniale :

- **Naissance et développement du réseau algérien jusqu' en 1878 :**

Le Réseau ferré algérien est né tardivement, mais il a ensuite rattrapé son retard initial et présente maintenant des comparables à celles des réseaux européens.

Les trois premières lignes construites eurent naturellement comme origine les trois ports les plus importants qu'elles unissaient à leur arrière-pays ; elles reliaient :

- Alger à Blida (51 km), dès 1862.
- Oran à Saint-Denis-Du-Sig (51 km), en 1868.
- Philippeville (Skikda) à Constantine (87 km), en 1870.

Cette dernière était à la fois plus longue et beaucoup plus accidentée que les autres ; elle avait pour but d'unir à la mer la seule grande ville de l'intérieur.

Ces trois lignes, concédées en 1860 à la Compagnie des Chemins de fers Algériens, furent rétrocédées peu après au Paris-Lyon-Méditerranée (P.-L.-M.) comme prolongement, au-delà de la Méditerranée, du plus grand réseau de la France continentale qui reliait, par son artère maitresse, Paris à Marseille, principal port d'embarquement pour L'Algérie.

En 1871, cette Compagnie ouvrait à l'exploitation les 320 km de voies séparant Blida de Saint-Denis-de-Sig, assurant ainsi dès cette époque, les relations par fer **Alger-Oran** (422 km) malgré les difficultés que présentait la traversée de la région montagneuse entre El-Affroun et Affreville (Khemis Miliana) : c'était là la première grande ligne algérienne et c'est toujours l'artère la plus chargée du réseau.

- **L'évolution des chemins de fer en Algérie de 1879 à 1906 :**

Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes « d'intérêt général » avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites « d'intérêt local » est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente années qui suivent, 2 035 km de lignes chemin de fer s'ajoutent en constituant le réseau ferroviaire algérien.

En 1900, la Compagnie franco-algérienne, endettée, perd sa concession. Le même sort touche la Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma en 1905 puis celle de l'Est Algérien en 1908.

- **Chemins de fer en Algérie de 1906 à 1946 :**

Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau.

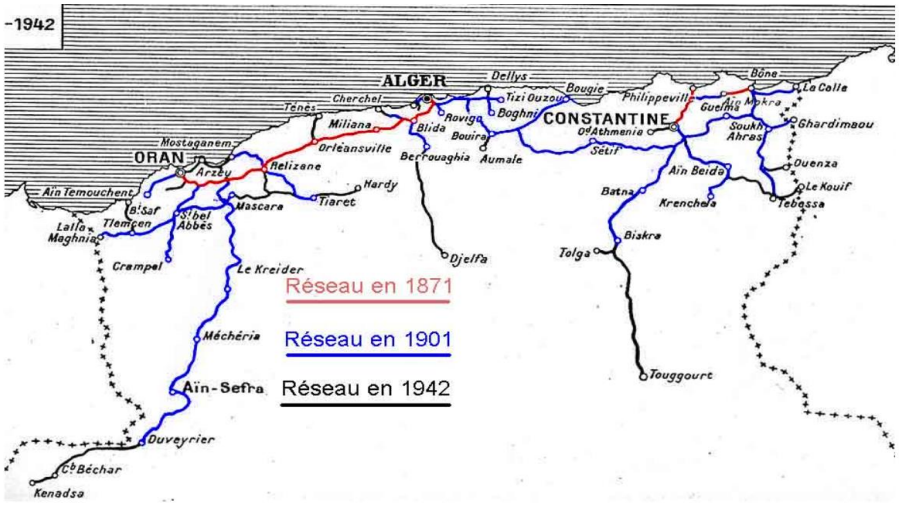


Figure I-1 : Chemins de fer En Algérie 1830-1962.

I.2.1.2 Période postindépendance :

La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCFA) le 16 mai 1963. Le matériel français est conservé mais, rapidement, des commandes de locomotives et de voitures, provenant des Pays du bloc soviétique, complètent le parc.

En 1975, le révolutionnaire Trans-Maghreb Casablanca-Oran-Alger-Tunis, entièrement composé d'un nouveau matériel INOX construit en France, est mis en service. Mais très rapidement, des problèmes politiques entre les États traversés provoquent sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

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

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

En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la SNERIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990 pour devenir un EPIC.

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

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

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

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

Le 10 septembre 2018, la mise en service du système de télécommunication ferroviaire GSMR pour la première fois en Afrique,

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

Le 26 décembre 2022, la ligne reliant Tissemsilt à M'Sila en passant par Boughezoul, longue de 290 km, est inaugurée.

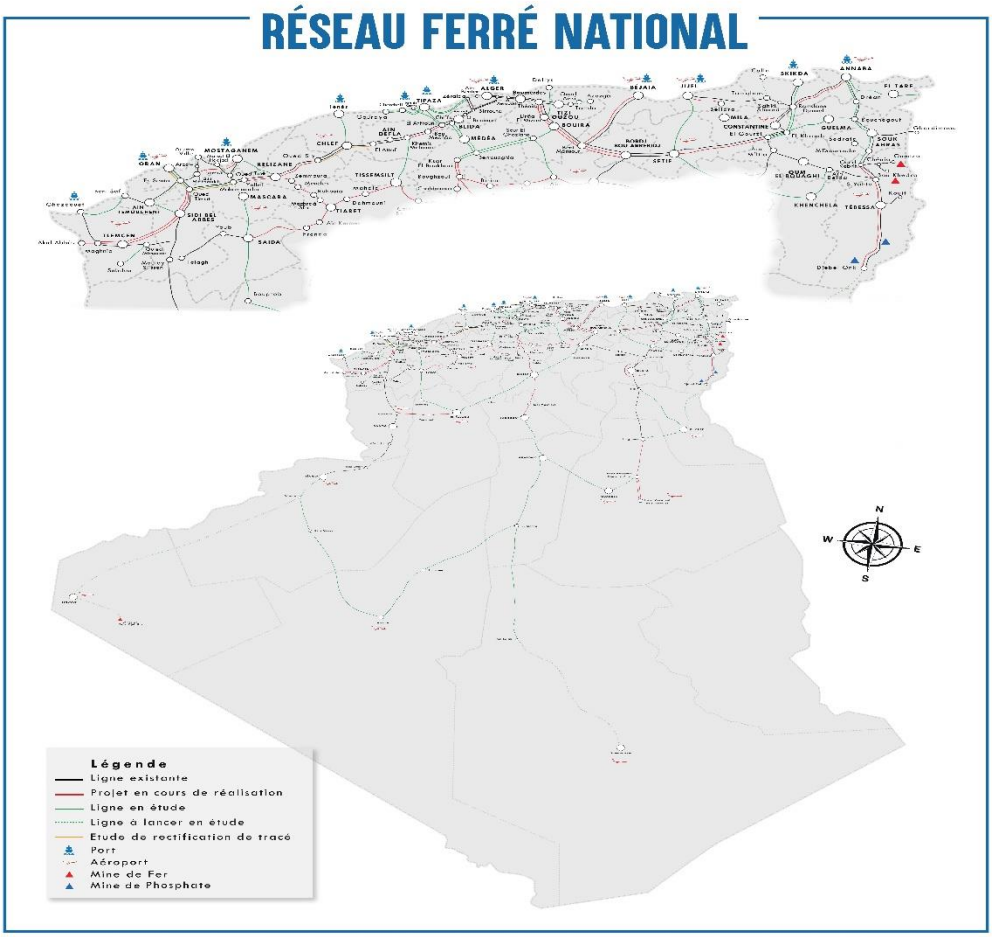


Figure I-2 : Les réseaux ferroviaires Algériens.

I.3 Avantage des chemins de fer :

Les chemins de fer offrent de nombreux avantages par rapport à d'autres modes de transport. Voici quelques-uns des principaux avantages des chemins de fer :

- **Vitesse de transport :** contrairement au fret routier, le transport ferroviaire n'est pas sujet aux embouteillages et les arrêts de services ferroviaires ne se produisent qu'en cas de panne des trains ou de l'infrastructure. Il convient également de noter que dans de nombreuses régions du monde, l'état de l'infrastructure permet aux trains de marchandises d'atteindre des vitesses élevées.
- **La possibilité de transporter des marchandises volumineuses :** le train est la solution parfaite lorsqu'il s'agit de transporter des objets volumineux. Un wagon standard a une capacité de charge beaucoup plus élevée qu'une remorque de camion, avec l'avantage supplémentaire que les chemins de fer peuvent utiliser des plates-formes ouvertes.
- **L'écologie :** à l'heure où la réduction des émissions de gaz à effet de serre est l'un des enjeux les plus importants pour l'industrie, le choix d'un mode de transport respectueux de l'environnement est un autre argument important pour réduire le fret routier au profit du transport ferroviaire.
- **Haut niveau de sécurité :** tant en termes de nombre d'accidents que de fréquence des délits (cambriolages, vols, vandalisme), le rail est l'un des modes de transport les plus sûrs.

I.4 Conclusion :

Un grand pays comme l'Algérie, avec une superficie immense, devrait disposer d'un réseau ferroviaire dense. Malheureusement, ce n'est pas le cas actuellement. Ainsi, les projets d'infrastructure ferroviaire prévus joueront un rôle régénérant en permettant d'atteindre des échanges entre les différentes régions dans le territoire et en augmentant l'efficacité du niveau de développement de l'économie du pays.

Chapitre II : Présentation du projet.

II. Présentation du projet

II.1. Introduction :

Dans le secteur de transport, la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat est l'un des projets importants dans le cadre du développement du réseau ferroviaire de la zone sud de l'Algérie. Elle permettra également de relier la région centre des hauts plateaux à la région du nord du grand Sahara du pays, favorisant ainsi les échanges commerciaux et le développement économique. Cette infrastructure contribuera à renforcer la connectivité régionale, à faciliter les déplacements des habitants et à stimuler le tourisme dans la région. En fournissant une alternative de transport fiable et efficace, cette nouvelle ligne ferroviaire répondra aux besoins croissants de mobilité et participera à la modernisation des infrastructures de transport en Algérie.

II.2. Présentation du site :

II.2.1. Présentation de la wilaya de Djelfa :

La wilaya de Djelfa est une division administrative de l'Algérie, située dans la région des hauts plateaux. Elle est entourée par les wilayas suivant :

- Au Nord : Médéa et Tissemsilt
- Au Sud : Ouargla, El Oued et Ghardaïa
- A l'Est : M'sila et Biskra.
- A l'Ouest : Laghouat et Tiaret.

La wilaya de Djelfa s'étend sur une superficie considérable de 32 256,35 km^2.

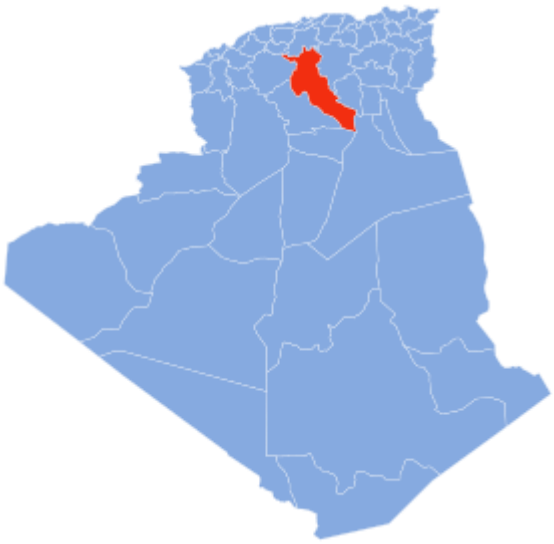


Figure II-1 : Localisation de la Wilaya de Djelfa.

II.2.1.1. Relief :

La wilaya de Djelfa, située dans la région des hauts plateaux de l'Algérie, présente un relief diversifié. La topographie de la wilaya est caractérisée par une combinaison de plaines, de plateaux et de montagnes. Elle se caractérise par 4 zones inhomogènes qui succèdent au piémont de l'Atlas tellien :

- La plaine de Ain Oussera, zone plane de 500 000 ha, dont l'altitude va de 650 à 850 m.
- La chaîne montagneuse des Ouled Naïl orientée Sud-Ouest - Nord-Est.
- Les plaines dont les plus importantes sont celles de Maâlba et Ain Mouilah.
- Enfin au Sud le plateau désertique appelé aussi "plateau saharien".

Le point culminant du département est situé à l'Est de Benyagoub dans la daïra de Charef avec une altitude de 1 613 m et le plus bas 150 m à l'extrême Sud de la wilaya.

II.2.1.2. Climat :

En résumé, la wilaya de Djelfa se caractérise par un climat semi-aride avec des hivers froids, des étés chauds et secs, des précipitations variables et des vents réguliers. Ces conditions climatiques influencent les activités agricoles, l'environnement naturel et la vie quotidienne des habitants de la wilaya. En moyenne, la wilaya reçoit environ 350 mm de précipitations par an, mais de manière irrégulière, avec des variations du nord au sud.

Les vents dans la région sont caractérisés par leur intensité et leur fréquence. Ils proviennent généralement du nord-est et du sud-est, avec des influences océaniques et nordiques. Ces vents peuvent avoir un impact sur le climat local et jouer un rôle dans la régulation des températures et des conditions météorologiques.

II.2.2. Présentation de la wilaya de Laghouat :

La wilaya de Laghouat est une division administrative de l'Algérie située dans la région du Sahara algérien. Elle est entourée par les wilayas suivant :

- Au Nord : Tiaret.
- Au Sud : Djelfa.
- A l'Est : Tiaret et El Beydh.
- A l'Ouest : Ghardaïa.

La wilaya de Laghouat s'étend sur une superficie considérable de 25 000 km.



Figure II-2 : Localisation de la Wilaya de Laghouat.

II.2.2.1. Relief :

La wilaya de Laghouat présente une géographie variée avec deux zones distinctes :

- La zone de l'Atlas saharien, située au nord-ouest de la wilaya (régions d'Aflou et Brida), se distingue par ses altitudes allant de 1 000 m à 1 700 m et ses pentes de 12,5 à 25 %.
- La zone des Hauts Plateaux et des Plateaux sahariens, couvrant une grande partie de la wilaya de Laghouat, est caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1 000 m et des pentes douces allant de 0 à 3 %.

II.2.2.2. Climat :

En raison de la topographie de la région, le climat de la wilaya de Laghouat présente des variations significatives :

Au nord-ouest de la wilaya, où se trouve la zone montagneuse, le climat est de type continental. On y observe une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, ainsi que des chutes de neige et des gelées blanches pendant l'hiver.

Dans la région des Hauts Plateaux et des Plateaux sahariens, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie y est plus faible, allant de 150 mm au centre de la wilaya à seulement 50 mm au sud. Les précipitations sont rares et irrégulières. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches, tandis que les étés sont marqués par des températures élevées et une forte chaleur. Les vents de sable sont également fréquents dans cette région.

II.3. Description du projet :

Le projet actuel porte sur l'étude de l'avant-projet détaillé (APD) d'un tronçon d'environ 11,475 km de la ligne Djelfa-Laghouat situé à la wilaya de Laghouat, entre les points kilométriques PK100+000 et PK111+475. L'une des principales composantes de cette étude est la conception d'une gare de voyageurs.

Ce projet représente une étape importante dans le développement du réseau ferroviaire de la région, facilitant les déplacements des voyageurs et contribuant au développement économique et social de Djelfa, Laghouat, et des zones environnantes.

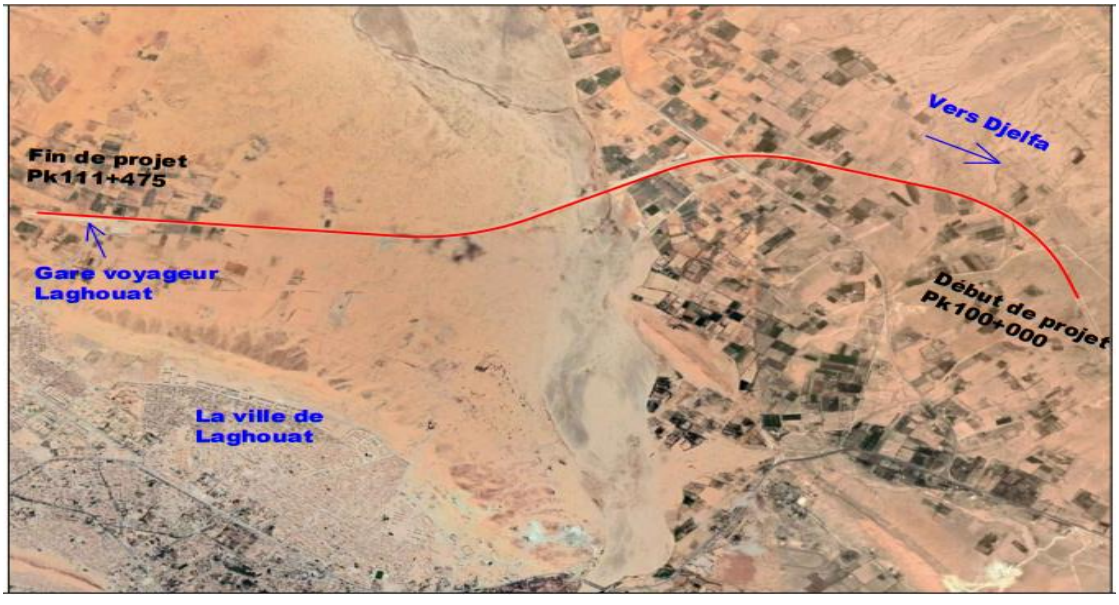


Figure II-3 : Situation de la zone d'étude.

II.4. Caractéristique du projet :

- Longueur du projet :11.475 km.
- Nombre de voie : voie unique.
- Vitesse max des trains de voyageur :220 km/h.
- Vitesse max des trains de marchandises :100 km/h.
- Type de rail : UIC 60 E1.
- Traverse monobloc M450NP.
- Charge à l'essieu de 22.5T pour la voie et 25T pour les ouvrages d'art.
- Ecartement :1.435m.
- Largeur de plateforme : 8m.
- Paramètre de Tracé suivant les normes UIC.

II.5. Conclusion :

Notre travail consiste à faire une étude APD de la nouvelle ferroviaire à voie unique Djelfa-Laghouat sur le tronçon du pk 100+000 Jusqu'à pk 111+475 Avec la conception de la gare de voyageur Laghouat.

Chapitre III : Superstructure de la voie.

III. Superstructure de la voie

III.1. Introduction :

La superstructure ferroviaire englobe l'ensemble des éléments constitutifs de la voie ferrée, essentiels pour garantir son bon fonctionnement et assurer la sécurité du système ferroviaire. Parmi les principaux éléments de la superstructure ferroviaire, on retrouve le rail, les traverses, les attaches travers-rail et les appareils de voie. Ces éléments jouent un rôle crucial dans la stabilité et la résistance de la voie, ainsi que dans le guidage des trains tout en maintenant leur sécurité.

III.2. Composant de la voie ferre :

Les composants de la voie ferrée comprennent :

III.2.1. Rail :

Les rails, constituants essentiels de la voie ferrée, sont principalement fabriqués en acier et disposés de manière parallèle sur les traverses. Ils remplissent deux fonctions clés : guider les roues des trains et supporter leur poids. Grâce à leur profil spécifique, les rails assurent un guidage précis des roues, permettant ainsi aux trains de suivre une trajectoire définie en toute sécurité.

III.2.1.1. Rail à patin (Vignol) :

Le type de rail le plus utilisé universellement, qui compose trois parties :

- Le champignon qui constitue la table de roulement.
- L'âme est la partie centrale du rail qui relie le champignon aux le patin.
- Le Patin est la partie inférieure du rail qui appuie sur traverse.

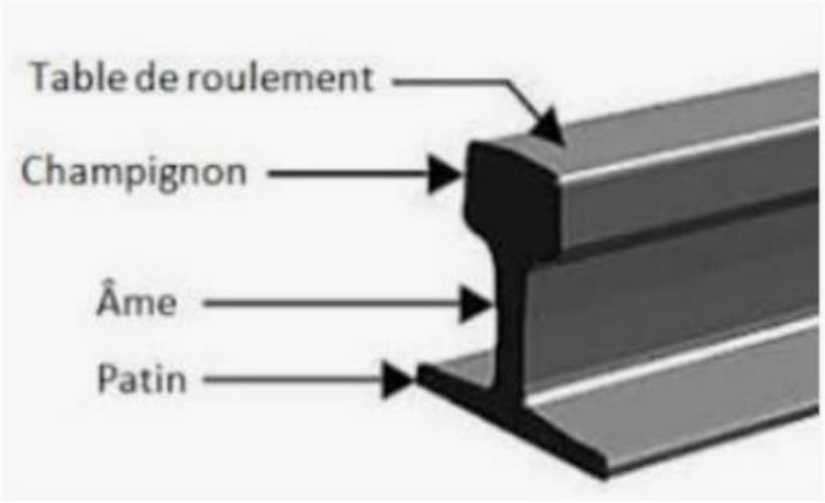


Figure III-1 : Le rail Vignol.

La Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNTF) a choisi d'utiliser le rail UIC60 E1 (60 kg/m) pour la ligne étudie, qui présente les caractéristiques géométriques suivantes :

- Surface de la section :76.70 cm^2.
- Masse par mètre :60.21 kg/m.
- Moment d'inertie (axe : x-x) :3038.3 cm^4.
- Moment d'inertie (axe : y-y) :512.3 cm^4.
- Hauteur :172 mm
- Epaisseur de l'âme :16.5 mm
- Largeur du patin :150mm
- Largeur de table de roulement :72mm

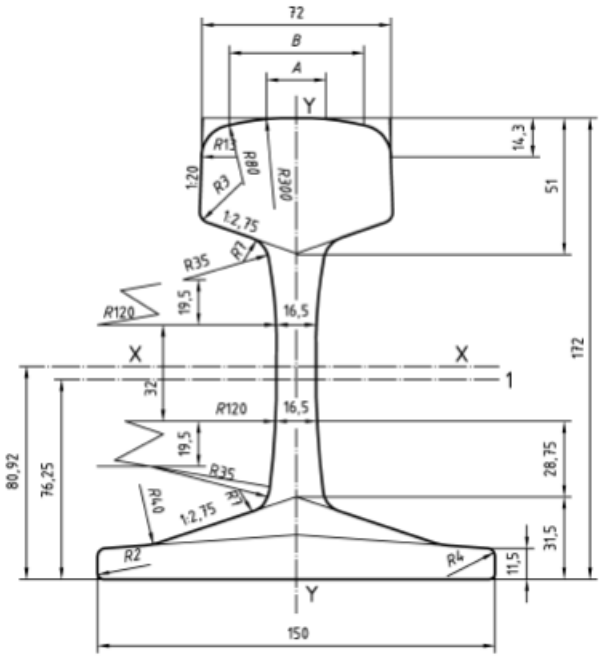


Figure III-2 : Rail de type 60-E1

III.2.2. Assemblage des rails :

L'assemblage des rails est une étape essentielle dans la construction et l'entretien des voies ferrées. Il existe différentes méthodes d'assemblage des rails, dont voici les principales :

III.2.2.1. Système d'éclisses :

Les éclisses sont des pièces métalliques qui sont utilisées pour assembler les rails entre eux, formant ainsi des longueurs continues de voie ferrée. Les éclisses assurent la continuité de la voie et permettent aux trains de circuler en douceur d'une section de rail à une autre.

III.2.2.2. Assemblage par soudure :

Il s'agit de la méthode la plus courante utilisée pour l'assemblage des rails. Il existe deux types de soudures couramment utilisées :

- **Soudure à l'aluminothermie :** Cette méthode de soudage utilise un mélange d'aluminium en poudre et d'oxyde de fer pour créer une réaction chimique exothermique. Un moule en céramique est utilisé pour maintenir le mélange réactif en place.
- **Soudure électrique :** Le soudage électrique consiste à fusionner des abouts de rail par forgeage en faisant passer un courant électrique qui fait augmenter la température

du métal jusqu'à une température proche de la température de fusion (autour de 1000 C), tout en pressant les deux abouts l'un contre l'autre.

Ces deux méthodes de soudure sont largement utilisées dans l'assemblage des rails, offrant des jointures solides et durables entre les rails. La sélection de la méthode de soudure dépend de divers facteurs tels que la longueur de la soudure, les conditions environnementales et les préférences de l'exploitant ferroviaire.

III.2.3. Les traverses :

Les traverses sont des éléments transversaux en bois, en béton ou en acier placés perpendiculairement aux rails. Elles soutiennent les rails et répartissent la charge du train sur le ballast. Elles sont utilisées pour soutenir les rails et répartir la charge des trains sur le ballast, assurant ainsi la stabilité et la durabilité de la voie ferrée.

- **Traverses en bois** : Historiquement, les traverses en bois ont été largement utilisées. Elles sont généralement fabriquées à partir de bois dur pour résister à la pourriture et à l'usure. Les traverses en bois offrent une bonne isolation électrique, absorbent les vibrations et peuvent être facilement remplacées lorsqu'elles sont endommagées ou usées.



Figure III-3 : Traverse en bois.

- **Traverses en acier :** Les traverses en acier sont un type de traverse utilisé dans certaines applications spécifiques de construction de voies ferrées. Elles sont fabriquées à partir de profilés en acier résistants, ce qui leur confère une grande résistance et une durée de vie prolongée.



Figure III-4 : Traverse en acier.

- **Traverses en béton :** Les traverses en béton sont largement utilisées dans de nombreux réseaux ferroviaires en raison de leur résistance et de leur durabilité. Elles sont fabriquées en utilisant du béton précontraint ou armé, ce qui les rend capables de supporter des charges importantes et de résister aux contraintes de l'environnement ferroviaire.
  Il existe deux principaux types de traverses en béton :

  a) Traverses monobloc : Les traverses monobloc sont des traverses en béton massif fabriquées en une seule pièce. Elles offrent une structure solide et uniforme, ce qui les rend adaptées aux voies ferrées à trafic intensif.

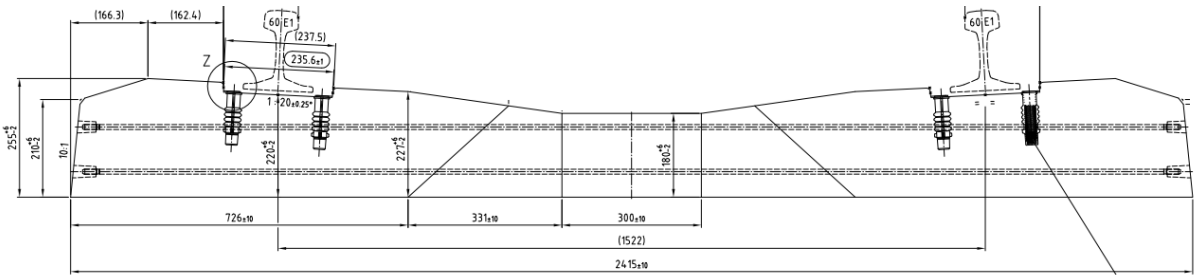


Figure III-5 : Traverse monobloc.

  b) Traverses bi-bloc : Les traverses bi-bloc sont composées de deux parties distinctes, généralement appelées la tête et le pied, qui sont reliées entre elles par une entretoise.

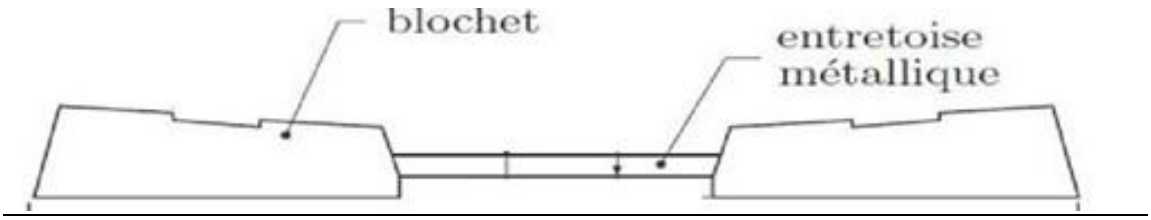


Figure III-6 : Traverse bi-bloc.

III.2.3.1. Rôle de traverse :

Les traverses jouent un rôle crucial dans la construction et le fonctionnement des voies ferrées. Elles soutiennent les rails, répartissent la charge des trains, absorbent les vibrations et contribuent à maintenir la stabilité et la géométrie correcte de la voie ferrée.

III.2.4. Attaches travers-rail :

Les attaches travers-rail sont conçues pour assurer une connexion solide entre les rails et les traverses. Elles garantissent que les rails restent bien positionnés et alignés, ce qui est crucial pour maintenir la stabilité de la voie ferrée et prévenir les déraillements.

- **Types d'attache :**

Il existe plusieurs types de systèmes d'attache utilisés dans les voies ferrées. Voici quelques-uns des types les plus couramment utilisés :

a) Système d'attache Nabla :



Figure III-7 : Système d'attache Nabla.

b) Système d'attache VOSSLOH :



Figure III-8 : Système d'attache VOSSLOH.

c) Système d'attache PANDROL FASTCLIP :



Figure III-9 : Système d'attache PANDROL FASTCLIP.

III.2.5. Appareils de voie :

Les appareils de voie sont des éléments essentiels du système ferroviaire Ces dispositifs jouent un rôle crucial en assurant la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire. Grâce aux appareils de voie, les trains peuvent changer de direction ou passer d'une voie à une autre en toute confiance. Ils garantissent ainsi des transitions sans heurts, facilitant ainsi la gestion efficace des itinéraires et contribuant à un fonctionnement harmonieux du réseau ferroviaire.

Les appareils de voie comprennent plusieurs éléments essentiels au bon fonctionnement du système ferroviaire. Parmi ceux-ci, on retrouve :

III.2.5.1. Branchement (Aiguillage) :

Ce sont des dispositifs qui permettent de diriger les trains d'une voie principale vers une voie secondaire ou vice versa. Les aiguillages permettent aux trains de changer de direction en choisissant la voie appropriée.

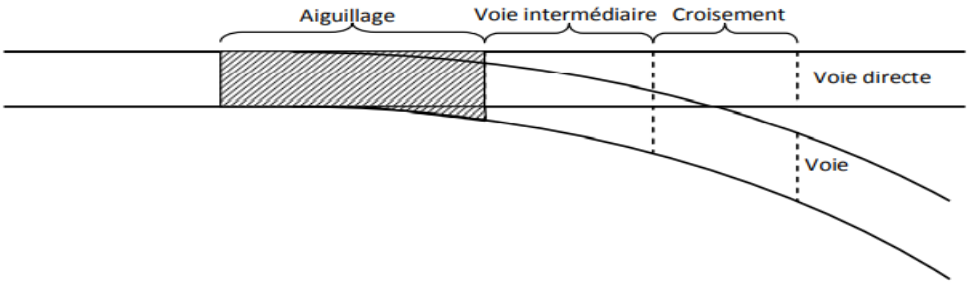


Figure III-10 : les éléments du branchement.

III.2.5.2. Croisements (Traversée simple) :

Ces appareils permettent à deux voies de se croiser en formant un angle spécifique. Les croisements permettent aux trains de passer d'une voie à l'autre tout en maintenant la continuité du trajet.

III.2.5.3. Traversée jonction :

Les jonctions, qu'elles soient simples ou doubles, sont des points de connexion essentiels entre différentes voies ferroviaires. Elles jouent un rôle pour permettant aux trains de passer d'une voie à une autre, offrant ainsi une flexibilité accrue dans le choix des itinéraires.

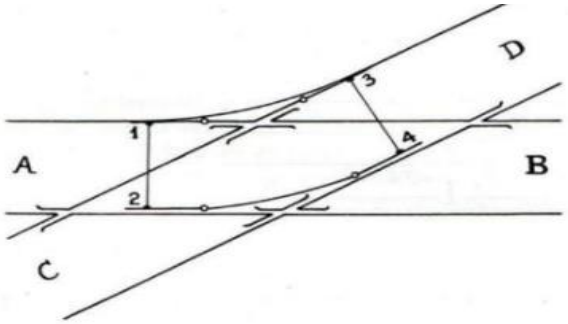


Figure III-11 : Traversée-jonction simple.

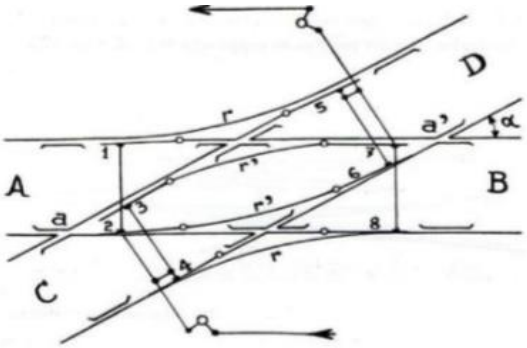


Figure III-12 : Traversée-jonction double.

III.3. Caractéristique de la voie étudiée :

Les caractéristiques de la voie sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-1 : Caractéristique des composant de la voie étudiée.

Composantes	Caractéristique
Rail	Type UIC60 E1
Traverses en pleine voie	Type monobloc en béton armé
Traverses dans les voies de services	Type bi-bloc
Attaches	Attaches élastique type NABLA
Les appareils de voie	Branchement UIC60-1 :12 -500 Branchement UIC60-1 :9 -300

Chapitre IV : Tracé en plan.

IV. Tracé en plan.

IV.1. Introduction :

Le tracé en plan est une représentation horizontale, sur un repère cartésien topographique, de tous les points qui définissent le tracé de la voie ferrée. Il se compose d'une série de segments de droite reliés entre eux par des arcs de cercle.

Les éléments constitutifs du tracé en plan doivent garantir des conditions de confort et de sécurité.

Notre projet est caractérisé par deux vitesses :

- V_v : vitesse des trains de voyageurs (Rapides).
- V_m : vitesse des trains de marchandises (Lents).

IV.2. Condition et règle à respecter dans le tracé en plan :

Afin d'assurer un confort technique optimal et de minimiser les coûts économiques, il est essentiel de se conformer aux normes exigées dans notre projet. Ces normes sont répertoriées dans la fiche UIC (Union internationale des chemins de fer) ainsi que dans les recommandations de la SNTF (Société nationale des transports ferroviaires). Nous allons mentionner ici certaines exigences qui revêtent une importance particulière :

- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestiers.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'art.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les terrassements.
- Eviter les problèmes de talus :
  - **Talus en déblai :** éviter :
    - Présence de nappe.
    - Terrains plastique.
    - Présence de roches fissurée.
  - **Talus en remblais :** éviter **:**
    - Présence de terrain instable.
    - Sol compressible.

IV.3. Elément de tracé en plan :

Le tracé en plan se compose généralement de la succession judicieuse des éléments suivants : alignement droit, pleine courbe et courbe de transition. Ces éléments sont utilisés pour représenter les caractéristiques linéaires de la voie ferré.

- **L'alignement droit** est la section droite de l'alignement qui relie deux points spécifiques.
- **La pleine courbe** est utilisée pour représenter les sections courbes de l'alignement. Elle est définie par un rayon et un angle, et est représentée par une courbe lisse sur le plan.
- **La courbe de transition** est utilisée pour connecter l'alignement droit à la pleine courbe et permettre une transition en douceur entre les deux.

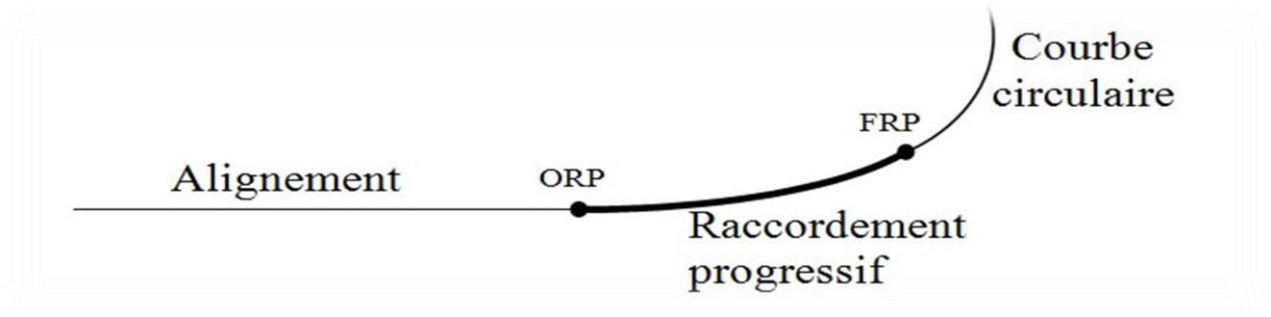


Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan.

IV.4. Caractéristiques géométriques :

Certaines des caractéristiques géométriques les plus couramment utilisées, selon les recommandations de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires), sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau IV-1 : Vitesse des trains maximale.

Vitesse des voyageurs (V_v)	220 km/h
Vitesse des marchandises (V_m)	100 km/h

Tableau IV-2 : Paramètres géométriques de trace en plan (SNTF).

	Formule		Application	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Devers maximal d (mm)	-	-	**160**	**180**
$R_{min} = \frac{11.8 \times Vmax^2}{dmax+Imax}$(m)	$\frac{11.8 \times Vmax^2}{dmax + Imax}$	$\frac{11.8 \times Vmax^2}{dmax + Imax}$	**1 842**	**1 680**
Longueurs minimales des alignement(m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	**110**	**73**
Longueur minimale des pleines courbe (m)	$\frac{Vmax}{2}$	$\frac{Vmax}{3}$	**110**	**73**
Insuffisance de dévers admissible I(mm)	-	-	**150**	**160**
Excès de dévers admissible E(mm)	-	-	**110**	**130**
Limite de variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m)	$\frac{180}{Vmax}$	$\frac{216}{Vmax}$	**0.818**	**0.982**
Limite de la variation d'insuffisance de dévers(mm/s)	-	-	**75**	**90**

IV.4.1. Devers théorique (d_{th}) :

On appelle devers théorique la dénivellation entre les deux files de rails qui pour une vitesse V du train, assure la stabilité et le confort lors de sa circulation en courbe.

La valeur du devers théorique sera donnée par la relation suivante :

$$dth = 11.8 \times \frac{V^2}{R}.$$

Avec :

- **V :** La vitesse du train en (Km/h).
- **R :** Rayon en mètre (m).
- **d_{th} :** En millimètre (mm).

IV.4.2. Devers pratique (d_p) :

Le devers réel est généralement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents.

La valeur du devers pratique sera donnée par la relation suivante :

$$dp = \frac{1000 \times C}{R}$$

- **Le Coefficient de devers (C) :**

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

$$C = 0{,}006 \times V^2$$

IV.4.3. L'insuffisance de devers :

La différence entre le dévers théorique des trains les plus rapides et le dévers pratique est représentée par :

$$I = 11.8 \times \frac{Vmax^2}{R} - dp \text{ (mm)}.$$

IV.4.4. L'excès de devers :

L'excès de dévers est la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique des trains les plus lents est représentée par :

$$E = dp - 11.8 \times \frac{Vmar^2}{R} \text{ (mm)}$$

IV.4.5. Gauchissement et variation de devers :

- **Variation en fonction du temps (Δd/Δt) :**

Une limite de la variation de dévers (Δd/dt) dans les courbes de translation est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité.

$$\frac{\mathbf{\Delta d}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{d \times Vmax}{3.6 \times L}$$

- **Variation en fonction de la longueur (Δd/Δl) :**

Taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur. La formule qui nous donne cette variation est :

$$\frac{\mathbf{\Delta d}}{\mathbf{\Delta l}} = \frac{3.6 \times \Delta \mathrm{d}}{Vmax \times \Delta \mathrm{t}} = \frac{dp}{L}$$

- **Variation d'insuffisance de dévers (ΔI/Δt) :**

Pour les éléments de transition avec variations uniformes de la courbure et du dévers, on peut établir la relation suivante :

$$\frac{\mathbf{\Delta I}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{I \times \mathrm{Vmax}}{3.6 \times \mathrm{L}}$$

IV.4.6. Longueur de la clothoïde :

La longueur de la clothoïde doit être déterminée à partir de la formule suivante :

$$Lrp \geq \frac{dp}{\frac{dd}{dl}}(\mathrm{m})$$

Avec :

- **dp :** Devers pratique.
- $\frac{dd}{dl}$ **:** Variation de dévers par rapport à la longueur (mm/m).

IV.5. Application au projet :

Selon SNTF et pour une vitesse de 220 km/h, le rayon minimal normalisé est de 1842 m. Par conséquent, tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs à Rmin=1842 m.

Prenons l'exemple du calcul pour un rayon de 2500 m afin de déterminer les différents paramètres du tracé en plan.

- **Devers théorique :**

$$dth = 11.8 \times \frac{V^2}{R} = 11.8 \times \frac{220^2}{2500} = 228.448 \text{ mm}$$

- **Coefficient de devers :**

$$\mathrm{C} = 0{,}006 \times 220^2 = 290.4.$$

La valeur de C doit être multiple de 15, alors dans ce cas on prend c= 300.

Devers pratique :

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

- **Insuffisance de dévers :**

$$I = 11.8 \times \frac{Vmax^2}{R} - dp = 11.8 \times \frac{220^2}{2500} - 120 = 108.448\text{mm}$$

I=108.448<I_{max}=150 mm

- **Excès de dévers :**

$$E = dp - 11.8 \times \frac{Vmar^2}{R} = 120 - 11.8 \times \frac{100^2}{2500} = 72.8\ mm$$

E=72.8mm<E_m=110

- **La longueur de clothoïde :**

$$Lrp \geq \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{dp}{\frac{180}{Vmax}} = \frac{120}{\frac{180}{220}} = 146.66\text{m}$$

On prend Lrp=150mm.

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

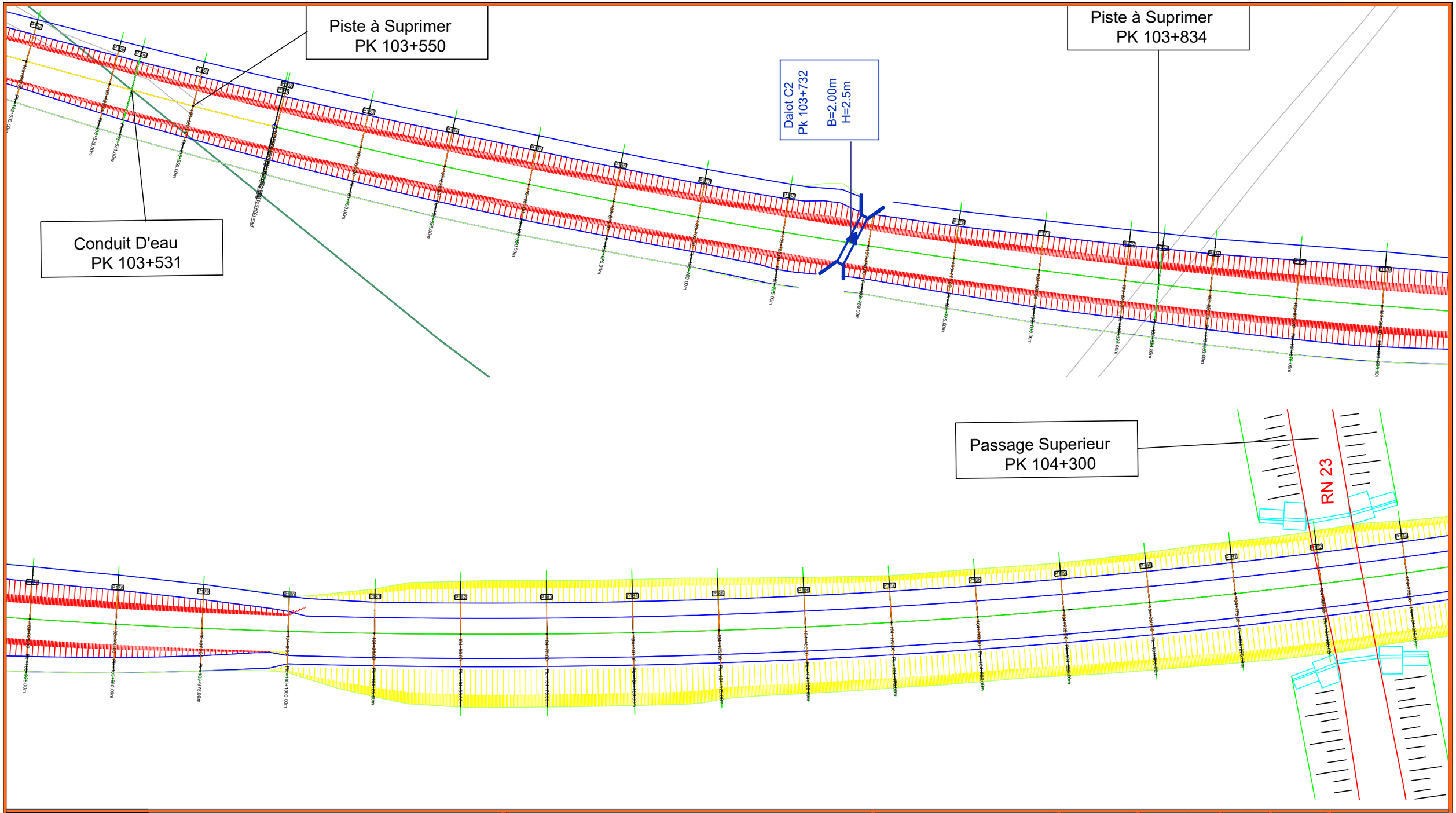
$$\frac{dp}{dL} = \frac{120}{150} = 0.8 \text{ mm/m} < 0.818 \text{ mm/m}.$$

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

$$\frac{\mathbf{dI}}{\mathbf{dt}} = \frac{I \times \text{Vmax}}{3.6 \times \text{L}} = \frac{108.448 \times 220}{3.6 \times 150} = 44.182 \frac{mm}{s} < 75mm/\text{s}.$$

Figure IV-2 : Calcul des différents paramètres pour chaque rayon.

Rayon	2000	2500
Coefficient de devers C	300	300
Devers pratique dp (mm)	150	120
Devers théorique dth (mm) voyageurs	285.56	228.45
Devers théorique dth (mm) marchandises	59	47.2
Longueur de clothoïde L (m)	190	150
Insuffisance de devers I (mm)	135.56	108.45
Excès de devers E (mm)	91	72.8
Variation de devers (mm/m)	0.79	0.8
Variation de l'insuffisance de devers (mm/s)	43.60	44.18



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N°Planche	Année universitaire
Étude en APD de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK 100+000 au PK111+475 avec conception de la gare de Laghouat.	Tracé en plan du Pk 103+500 au PK104+350	MAGRI-ELOUADJERI Abdelkader	ALLIOUA Badis	1/1000	1	2022 / 2023

Chapitre V : Profil en long.

V. Profil en long.

V.1. Introduction :

Le profil en long d'une voie ferrée est une représentation graphique de la variation de l'altitude le long de son tracé. Il montre les différents points de la voie ferrée, tels que les sommets, les creux et les pentes, ainsi que les caractéristiques importantes telles que les gares, les ponts et les tunnels.

Pour chaque point du profil en long, il est nécessaire de déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet.
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées ...

V.2. Règle à respecter dans le tracé du profil en long :

Pour établir un bon profil en long, il est important de prendre en compte les règles suivantes :

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profile en long.
- Minimiser les quantités de déblai et remblai.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un tracé en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.
- Respecter la déclivité maximale 16‰ en pleine voie et 0‰ au niveau de gare.
- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.

V.3. Éléments géométriques du profil en long :

Chaque profil en long est composé de :

- **Pente :** tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
- **Rampe :** tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
- **Palier :** c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbes de raccordement verticales :** ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

V.3.1. Déclivités :

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommée « une pente » pour les descentes « une rampe » pour les montées.

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur, En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après :

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

- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

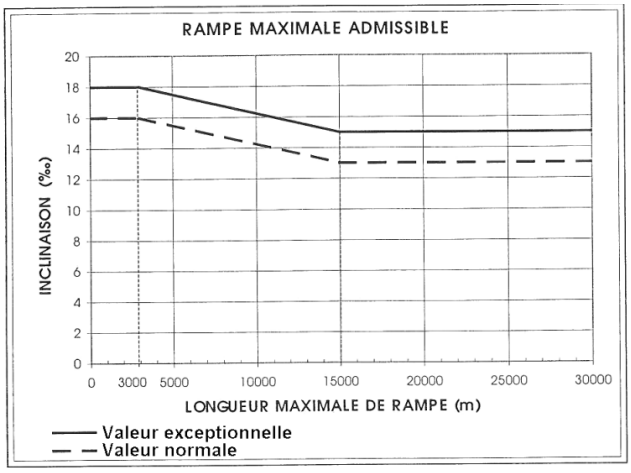


Figure V-1 : Déclivités maximale admissible (Source sntf).

V.3.2. Longueur minimale des éléments du profil :

Afin d'assurer un bon amortissement des oscillations des suspensions, il est nécessaire de définir une longueur minimale pour les éléments.

Tableau V-1 : les longueurs minimales des éléments de profile en long.

Valeur minimale normale	$V_{max}/2$
Valeur minimale exceptionnelle	$V_{max}/2.5$

V.3.3. Rayon admissible en raccordements de profil en long :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules.

Pour déterminer le rayon des courbes verticales, on utilise la formule suivante :

$$Rv = \frac{Vmax^2}{3.6^2 \times Av}$$

Avec :

- **Av :** Accélération verticale.

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h, la valeur maximale de cette accélération est de 0,22 m/s² (soit Av ≤ 0,05g) (exceptionnellement 0,31 m/s²).

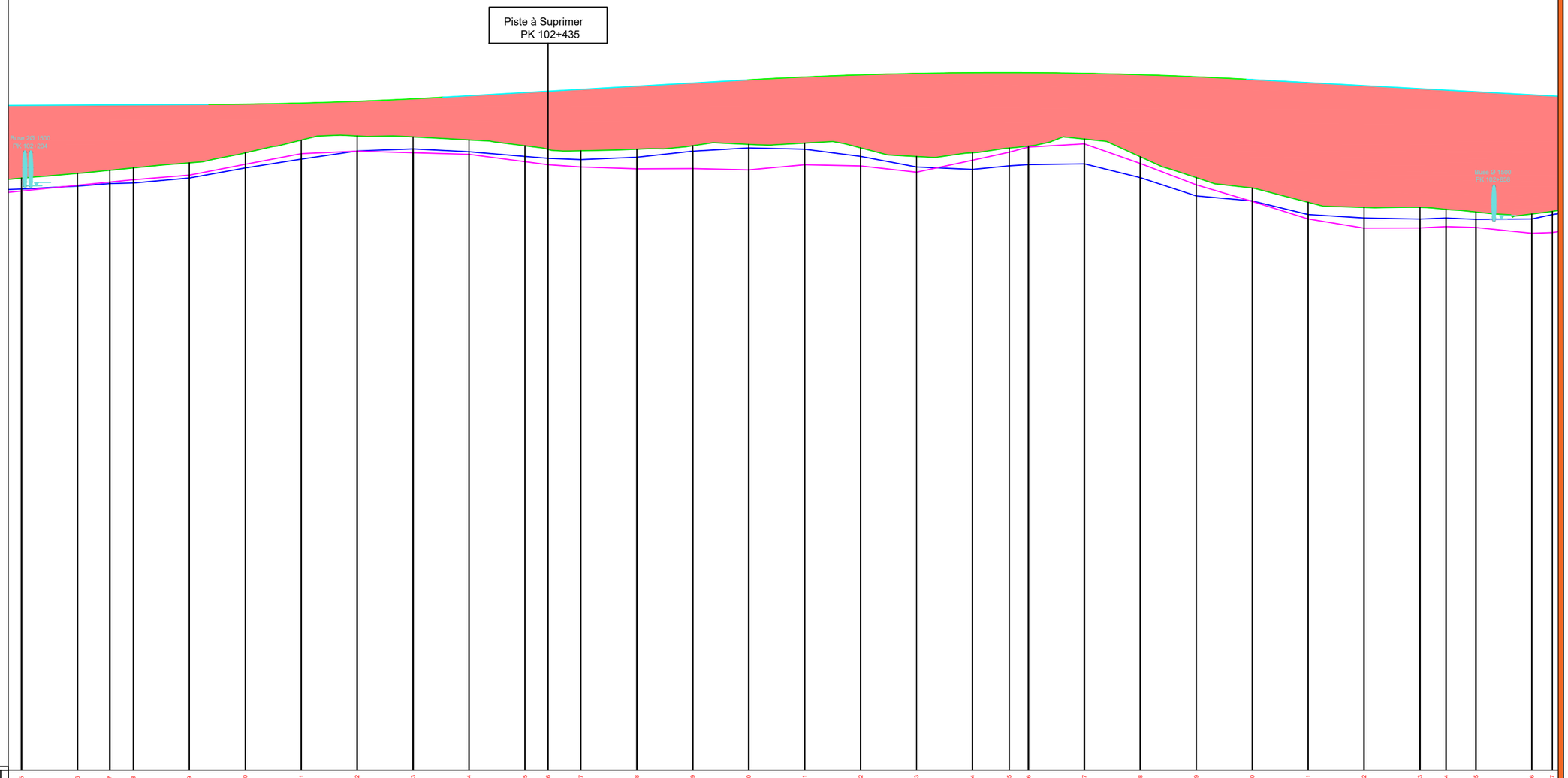
Tableau V-2 : Valeurs de rayon vertical minimal.

Valeur normale	$0.35\ V^2$
Valeur exceptionnelle	$0.25\ V^2$

V.4. Application au projet :

Pour notre projet, les exigences utilisées sont les suivantes :

- La déclivité max est de 16‰.
- Longueur maximale de la déclivité maximale est : 3 000 m.
- La longueur minimale de éléments est : Vv/2= 220/2 =110 m.
- Rayon vertical minimal : R_{Vmin}=0.35 V_v^2=0.35 x 220^2= 16 940 m.


Piste à Suprimer
PK 102+435

| | | |

Chapitre VI : Étude hydrologique et hydraulique.

VI. Etude hydrologique et hydraulique.

VI.1. Etude hydrologique :

L'étude hydrologique consiste à collecter et à analyser les données relatives aux précipitations, à l'évaporation, aux débits des cours d'eau, aux niveaux d'eau et à d'autres facteurs hydrologiques importants. Ces données sont utilisées pour établir des modèles hydrologiques qui permettent de prévoir les débits des cours d'eau et les volumes d'eau disponibles dans une région donnée. Cela permet de comprendre les régimes de crues, d'estimer les ressources en eau et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion des ressources hydriques.

VI.1.1. Description de la région :

La ligne de chemin de fer Djelfa-Laghouat, d'une longueur de 111 km traverse deux grand bassin hydrographique, à savoir :

- Bassin versant Zahrez (BV 17).
- Bassin versant du Chott Melhrir (BV 06).

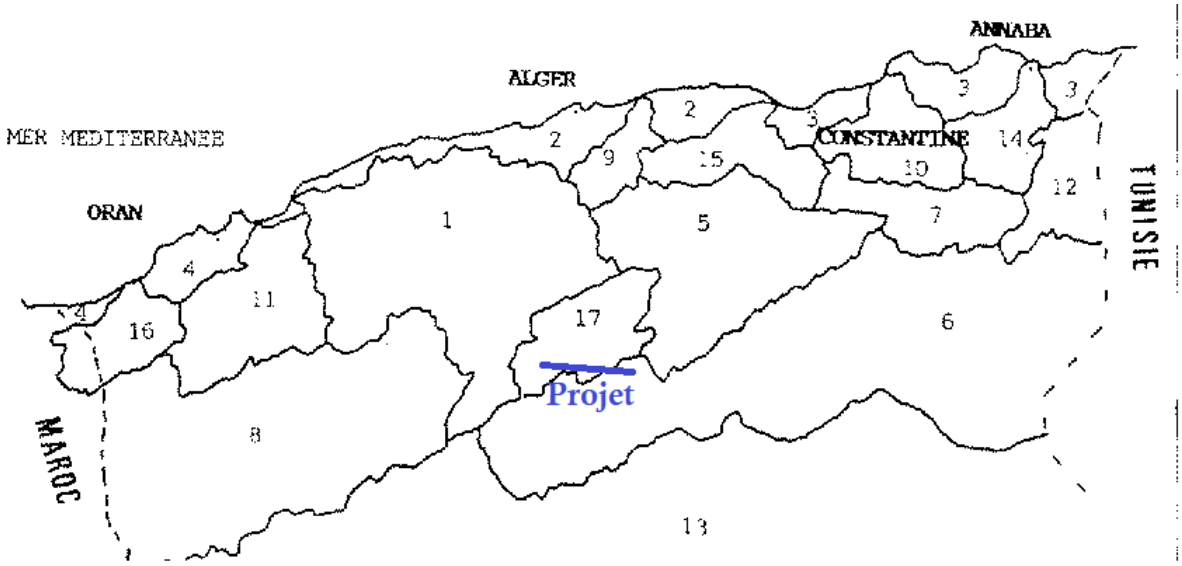


Figure VI-1 : Carte de situation de la région d'étude.

Le bassin hydrographique intéressant notre étude est celui du Chott Melhrir, qui s'étend sur huit wilayas : Biskra, Tébessa, Khenchela, Laghouat, Batna, et M'sila, présente une superficie de 68 750 km².

VI.1.2. Caractéristique des bassins versants dans la région :

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

Après la délimitation des bassins versants sur une carte topographique à l'aide du logiciel Autocad, On a consisté à calculer des paramètres suivants :

- S : Surface du bassin versant (Km²).
- P : Périmètre du bassin versant (Km).
- Kc : L'indice de compacité de Gravelius (Kc), pour la forme du bassin versant :

$$Kc = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}.$$

- L : Longueur du plus long cours d'eau (Km).
- Hmax : Altitude maximale (m).
- Hmin : Altitude minimale (m).
- Hmoy : L'altitude moyenne (m).
- Dh : Différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin.
- P : La pente (m/m).

Figure VI-2 : Délimitation des bassins versants.

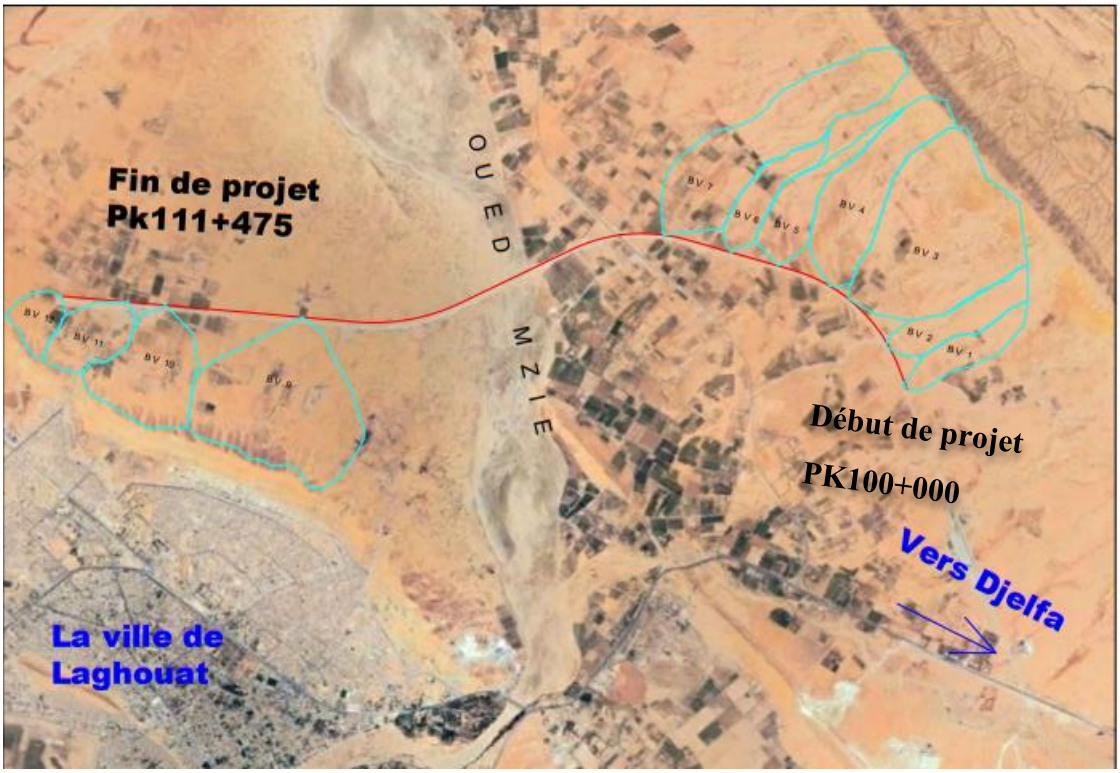


Tableau VI-1 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants :

N° BV	PK	S(Km2)	P(Km)	Kc	L	Hmax	Hmin	Hmoy	Dh	P(m/m)
BV 1	100+533	0,99	6,17	1,74	2,304	1041	813	927	228	0,099
BV 2	100+555	0,088	1,57	1,48	0,450	826	812	819	14	0,031
BV 3	101+375	3,54	7,77	1,16	2,750	1051	807	929	244	0,089
BV 4	101+559	1,68	6,38	1,38	2,670	1051	806,3	928,65	244,7	0,092
BV 5	102+240	1,14	6,59	1,73	2,800	1049	805,8	927,4	243,2	0,087
BV 6	102+858	0,98	6,95	1,97	3,150	844	804,1	824,05	39,9	0,013
BV 7	103+732	2,45	8,38	1,50	3,600	1049	799,6	924,3	249,4	0,069
BV 8	105+639	2340	0,881	0,01	450,0	1400	781	1090,5	619	0,001
BV 9	108+465	2,93	6,75	1,10	1,990	891	786,7	838,85	104,3	0,052
BV 10	110+160	1,39	4,72	1,12	1,560	881	785,845	833,4225	95,155	0,061
BV 11	110+622	0,69	3,2	1,08	1,270	861	786,83	823,915	74,17	0,058
BV 12	111+475	0,37	2,41	1,109	0,8	797,56	63,44	430,5	734,12	0,079

VI.1.3. Donné Pluviométrique :

VI.1.3.1. Pluies journalières maximales :

Les pluies journalières maximales pour différentes fréquences pour la région de Djelfa sont données dans le tableau qui suit :

Tableau VI-2 : Pluies journalières maximales fréquentielles.

Pluie de période de retour	P jmax (mm)
Pj 10	29.4
Pj 20	35.1
Pj 50	42.7
Pj 100	48.8

VI.1.3.2. Pluies de courtes durées :

Le passage des pluies journalières maximales (Pjmax) aux pluies de durées égales au temps de concentration (Ptc%) s'effectue à l'aide de la relation de K. BODY qui s'écrit par la relation suivante :

$$P_{Tc} = P_{j,max} \times (\frac{tc}{24})^b$$

Avec :

- **Pj max (%)** : Pluie journalière maximale fréquentielle.
- **tc :** temps de concentration.
- **b :** coefficient climatique (Pour la région de Laghouat b = 0.22).

VI.1.4. Détermination du débit de crue :

La méthode rationnelle sera utilisée pour le calcul du débit centennal sur des surfaces ou le temps de concentration est court.

VI.1.4.1. Méthode rationnelle :

La méthode rationnelle permet d'estimer le débit de pointe d'une crue pour des unités hydrauliques rurales ou naturelles. Elle repose sur le principe de transformation d'une pluie de projet (décrite par son intensité), supposée uniforme et constante dans le temps, en un débit

instantané maximal lorsque l'ensemble du bassin contribue à ce débit (au temps de concentration).

La formule de la méthode rationnelle s'exprime ainsi :

$$Q100 = C \times I \times A \times 0.278$$

Avec :

- Q100 : Débit de crue de fréquence déterminée en m3/s.
- C : Coefficient de ruissellement est pris égal à : 0.6 à 0.65 pour le terrain naturel 0.85 pour la plateforme.
- I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- A : Surface du bassin versant en (km2).

VI.1.4.2. Intensité de pluie :

L'intensité de pluie est définie suivant la relation suivante :

$$I = \frac{P_{Tc}}{Tc}$$

VI.1.4.3. Temps de concentration :

Pour le calcul du temps de concentration (Tc), nous avons opté pour la formule de Ventura:

$$Tc = 0.127\sqrt{\frac{A}{P}}$$

Avec :

- **Tc :** temps de concentration (heure).
- **A :** superficie du bassin versant (A<5km²).
- **P :** pente moyenne du bassin versant (m/m).

VI.1.4.4. Résultats de calcul des débits :

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau VI-3 : Résultats de calcul de débits.

N° BV	S(Km2)	P(m/m)	Tc(h)	Ptc(100ans)	I(t)	Q(m'3/s)
BV 1	0,99	0,099	0,402	19,843	49,409	8,159
BV 2	0,088	0,031	0,214	17,276	80,740	1,185
BV 3	3,54	0,089	0,801	23,098	28,837	17,028
BV 4	1,68	0,092	0,543	21,202	39,067	10,948
BV 5	1,14	0,087	0,460	20,442	44,466	8,455
BV 6	0,98	0,013	1,103	24,781	22,473	3,674
BV 7	2,45	0,069	0,757	22,811	30,143	12,318
BV 8	2340	0,001	194,273	77,308	0,398	155,319
BV 9	2,93	0,052	0,953	24,000	25,175	12,304
BV 10	1,39	0,061	0,606	21,725	35,835	8,308
BV 11	0,69	0,058	0,438	20,226	46,173	5,314
BV 12	0,37	0,0793	0,274	18,247	66,516	4,105

VI.2. Etude hydraulique :

Le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement (buses, dalots, ponts…etc.) s'avère indispensable, et ce pour assurer le transit des écoulements liquides et solides dans le respect des contraintes environnementales. Parallèlement, les ouvrages de collecte, tels que les fossés, jouent un rôle essentiel en canalisant efficacement les eaux de ruissellement superficiel.

VI.2.1. Estimation des débits de saturation des ouvrage hydrauliques :

Le débit de saturation ou le débit capable de l'ouvrage est calculé par le biais de la formule de **Manning Strickler** sur un écoulement en régime uniforme.

$$Qs = K\ S\ Rh^{2/3}\ \sqrt{i}$$

Avec :

- **K :** Coefficient de Manning Strickler = 65 (ouvrages en béton armé).
- **I :** Pente de pose de l'ouvrage (m/m).
- **S :** Section mouillée (m²).
- **Rh** : Rayon hydraulique moyen (m) avec : $Rh = \frac{Section\ mouillée}{Perimètre\ mouillé}$

VI.2.2. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux :

VI.2.2.1. Dimensionnements des buses :

Buse Ouvrage constitué d'au moins un conduit transversal, généralement fait de béton ou de métal, laissant circuler l'eau sous une route, une voie ferrée ou une autre structure.

Pour le dimensionnement des buses, plusieurs paramètres doivent être calculés :

- Surface mouillés Sm(m²) :

$$Sm = \frac{d^2}{4} \times \pi$$

- Périmètre mouillé :

$$Pm = d \times \pi$$

- Rayon hydraulique :

$$Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{\frac{d^2}{4} \times \pi}{d \times \pi} = \frac{d}{4}$$

On prend :

La pente longitudinale du buse i(m/m) :

i=0.01

Q100= Qs $\rightarrow Q100 = k \times (\frac{d}{4})^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \times \frac{1}{4}\pi \times (d)^2$

Donc :

$$d = \left(\frac{Q100 \times 4\frac{5}{3}}{k \times \sqrt{i} \times \pi}\right)^{3/8}$$

Tableau VI-4 : Dimensionnement des buses.

N° BV	PK	Qa=Q100	Dcalculé(1%)	Buse	Qps	Vps	Si Q=0.1Qp alors V >0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V > 0.3 m/s)
BV 1	100+533	8,159	1,686	2-Ø1500	12.870	3,64	2,366	1,165
BV 2	100+555	1,185	0,818	Ø 1000	2,026	2,580	1,677	0,825
BV 5	102+204	8,455	1,709	2-Ø1500	12.870	3,64	2,366	1,165
BV 6	102+858	3,674	1,250	Ø 1500	5,972	3,380	2,197	1,082
BV 10	110+160	8,308	1,698	2-Ø1500	12.870	3,64	2,366	1,165
BV 11	110+622	5,314	1,436	Ø 1500	5,972	3,380	2,197	1,082
BV 12	111+475	4,105	1,303	Ø 1500	5,972	3,380	2,197	1,082

VI.2.2.2. Dimensionnement des dalots :

Le dalot désigne un petit canal recouvert d'une dalle, un élément de caniveau ou un ouvrage hydraulique semi-enterré, sorte de petit aqueduc en maçonnerie placé sous les remblais des routes ou des voies ferrées.

Pour le dimensionnement des dalots, plusieurs paramètres doivent être calculés :

- Surface mouillés Sm(m²) :

$$Sm = 0.8\,H \times B$$

- Périmètre mouillé :

$$Pm = 2 \times 0.8 \times H + B$$

- Rayon hydraulique :

$$Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{H \times B}{2\,H \times B}$$

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

$$Qa \leq Qs$$

On prend :

La pente longitudinale du dalot i(m/m) :

$$i=0.01.$$

Une proposition de dalot aux dimensions de B=2 m (largeur) et H=2.5 m (hauteur), le calcul du débit de saturation peut être effectué :

$$Qs = K\ Sm\ Rh^{\frac{2}{3}}\sqrt{i} = 65\ \times\ 0.8 \times 2.5 \times 2 \times (\frac{0.8 \times 2 \times 2.5}{1.6 \times 2 + 2.5})^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.01}$$

$$Qs = 20.53 m^3/s$$

Pour les bassins versants (3, 4, 7 ,9), le débit calculé est inférieur au débit de saturation (Q100 < Qs). Par conséquent, il est approprié d'adopter un dalot aux dimensions B=2 m et H=2.5 m pour ces bassins versants.

Tableau VI-5 : **Dimensionnement des dalots.**

N° BV	PK	Qa=Q100	Ouvrage prévu	H	B	Sm	Pm	Rh	Qs	Si Q=0.1Qp alors V >0.6m/s	Si Q=0.01Qps Alors V > 0.3 m/s)
BV 3	101+375	17,028	Dalot	2.5	2	4	6	0,667	19,842	3,224	1,587
BV 4	101+559	10,948	Dalot	2.5	2	4	6	0,667	19,842	3,224	1,587
BV 7	103+732	12,318	Dalot	2.5	2	4	6	0,667	19,842	3,224	1,587
BV 9	108,465	12,304	Dalot	2.5	2	4	6	0,667	19,842	3,224	1,587

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

$$Hcr = \sqrt[3]{\frac{Qs}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{19.842}{9.8 \times 2.5^2}} == 0.69 < H = 2.5; condition\ vérifiée.$$

Remarque :

Le lit d'écoulement de l'Oued Mzi s'étend approximativement de PK 105+450 à PK 105+850. Le franchissement de l'Oued Mzi nécessite la construction d'un grand pont.

VI.2.2.3. Vérification de la condition d'auto curage :

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier que la vitesse d'écoulement a 0.1Qs et a 0.01 Qs :

- **1ère condition :**

Pour Q100/Qs= R_q=0.1 il faut que $V_{écoulement}$> 0.6 m/s.

- **2ème condition :**

Pour Q100 /Qs= R_q=0.01 il faut $V_{écoulement}$> 0.3 m/s.

De plus, il est essentiel que la vitesse d'écoulement dans les ouvrages hydrauliques ne dépasse pas les 4 m/s.

Remarque : les conditions d'auto curages sont vérifiées.

VI.2.3. Dimensionnement des fossés :

Pour le dimensionnement du fossé, il fait pour un période de retour 10 ans, les fossés sont placés à l'extérieur de plateforme.

Tout d'abord, il est important de déterminer le débit d'eau prévu en utilisant la formule de Manning-Strickler :

$$Qs = K\ S\ Rh^{2/3}\ \sqrt{i}$$

On opte pour des fossés de forme trapézoïdale avec des parois en béton armé.

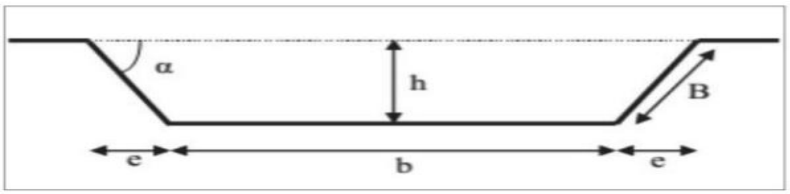


Figure VI-3 : Fossé de forme trapézoïdale.

Avec :

- Surface mouillés Sm(m²) :$Sm = (b + z\ h) \times h$.
- Périmètre mouillé :$Pm = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$.
- Rayon hydraulique :$Rh = \frac{Sm}{Pm}$.
- Z :la pente des berges.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-6 : Calcul de débit de saturation des fossés en fonction de leurs dimensions.

Type	i(m/m)	z	b	h	Sm	Pm	Rh	Ks	Qs
1	0,02	1,5	0,6	0,6	0,9	2,763	0,326	65	3,916
2	0,02	1,5	0,8	0,7	1,295	3,324	0,390	65	6,350
3	0,02	1,5	0,89	0,9	2,016	4,135	0,488	65	11,480
4	0,02	1	0,624	0,5	0,562	2,038	0,276	65	2,189

Le dimensionnement des fossés est réalisé en prenant en compte le cas le plus défavorable (remblais ou déblais). Dans notre situation, la zone de remblais est considérée comme la plus défavorable.

Tableau VI-7 : Caractéristique de la zone de remblais prise.

Pk début	Pk fin	Hauteur (m)	Longueur(m)
105+850	110+244	9,55	4394

Le débit d'apport se divise en plusieurs débit apporté par la plateforme, les talus, les bermes :

Tableau VI-8 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai.

Bv	S(km²) X 10^{-6}	P (%)	Tc	Ptc	I	C	Q	Qtot
Talus	93340,2	50	0,055	7,715	140,61	0,60	2,189	2,861
Plateforme	27159,2	4	0,105	8,893	84,98	0,85	0,545	
Berme	4394	4	0,042	7,278	172,91	0,60	0,127	

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition le débit calculé est inférieur au débit de saturation (Qa < Qs). Par conséquent, il est approprié d'adopter une fosse aux dimensions b=0.6 m et h=0.6 m pente=3/2 (H/V).

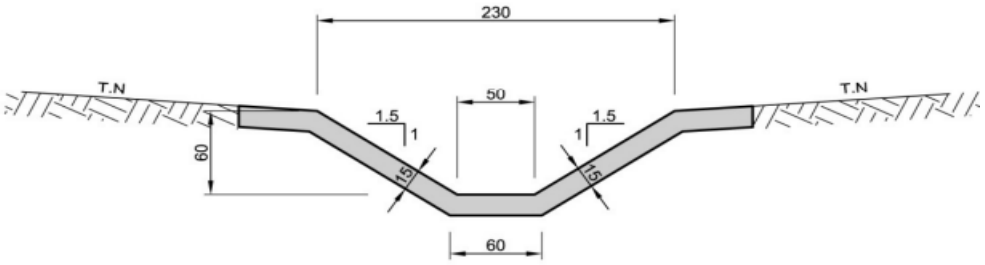


Figure VI-4 : Type de fossé adopté pour notre projet

VI.3. Conclusion :

L'étude hydraulique joue un rôle essentiel dans la conception et la gestion efficace des systèmes de drainage. Dans le cadre du tracé étudié, plusieurs éléments ont été identifiés :

- Un pont ferroviaire sur oued Mzie.
- Quatre (4) dalots et Sept (7) buses.
- Un fossé de forme trapézoïdale (h=0.6, b=0.6).

Chapitre VII : Etude géologique et géotechnique.

VII Etude géologique et géotechnique.

VII.1 Etude géologique :

VII.1.1 Géologie de l'Algérie :

Le pays comprend quatre grands domaines du nord au sud :

- L'Atlas tellien (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja au centre, le Chelif à l'ouest et le Seybouse à l'est.
- Les Hauts Plateaux.
- L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.
- Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert forméde grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses(regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forme, pratiquement, la limite méridionale du Sahara algérien.

L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille sud-atlasique :

- Le Nord de l'Algérie porte l'empreinte de la tectonique alpine.
- La plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée.

VII.1.2 Cadre géomorphologique et géologique de la région :

Le projet se situe dans la région Sud de l´Atlas Saharien et à la limite Nord du grand erg occidental. Il fait la transition entre les domaines des hauts plateaux au Nord et la Plateforme Saharienne au Sud.

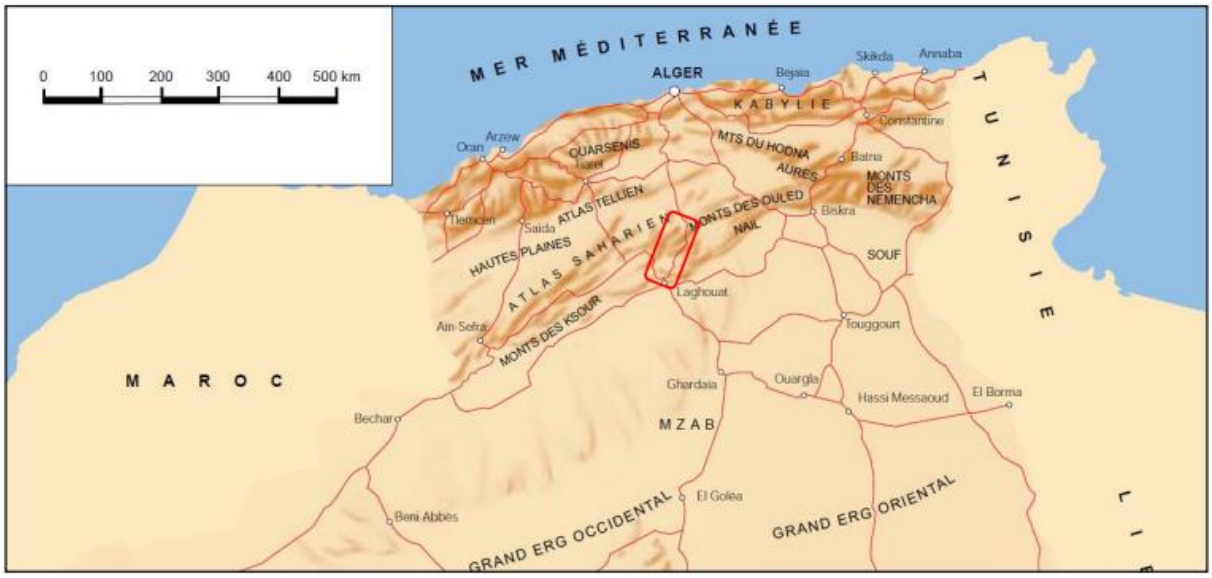


Figure VII-1 : Géographie de l´Algérie (carré rouge : tracé).

VII.1.2.1 Cadre géomorphologique :

Le tracé de la ligne se situe sur l'axe Djelfa – Laghouat, démarrant au PK 100+000 et se terminant au PK 111+475. Près du PK 100+000, elle traverse une chaîne de collines, puis traverse plusieurs surfaces agricoles contiguës et quelques collines en pente douce jusqu'au franchissement de l'Oued Mzi. Au PK 104+300. La route nationale RN23 est croisée au PK 104+300. L'Oued Mzi est franchi au PK 105+500. D'Oued Mzi au PK 109+500, le tracé suit un terrain plat et homogène. À partir du PK 109+500 jusqu'à la fin du lot au PK 111+496, encore plusieurs surfaces agricoles contiguës sont traversées.

- **Du PK 100+000 au PK101+850 :** Cette zone est caractérisée par une couche d'argile partiellement compactée en marnes qui se situe au-dessous de la couche superficielle de sable.
- **PK101+850 au PK105+450 :** Le sous-sol est dominé par du sable et quelques gisements de grès.
- **Du PK105+450 au 105+850 (Oued Mzi) :** Le sous-sol est dominé par des sables avec quelques passages du grès compacté. À la surface, il y a des dépôts du sable limoneux en provenance de l'écoulement.
- **Du PK 105+850 au PK 109+500 :** Le sous-sol est dominé par du sable et du grès. À la surface il y a des dépôts du sable limoneux.
- **Du PK 109+500 au PK 111+475 :** Dans cette zone, il y a plusieurs surfaces agricoles contiguës. Le terrain est plat jusqu'au PK 110+500. À partir du PK 110+500 jusqu'à la fin du tracé, le terrain vierge remonte peu à peu, mais de manière continue.

VII.1.2.2 Cadre géologique :

La région du site se situe dans une zone caractérisée par des formations géologiques du Quaternaire. Le tracé de PK 96+000 au PK111+475 se déroule dans la dépression d´une synclinale qui est ouillée avec des sédiments quaternaires.

Le Quaternaire se constitue de :

- **Des encroûtements alluvions :** sont des conglomérats polygéniques du quaternaire ancien. Il s´agit de roches sédimentaires détritiques formées par plus de 50% de roches > 2 mm liés par un ciment calcaire. Le conglomérat est très dur et compact. L'épaisseur est environ 5 m.
- **Encroûtement calcaire :** Il s'agit du sable limoneux et graveleux-caillouteux qui sont encroûtés par des croûtes calcaires surfacées blanchâtres. Ces encroûtements peuvent pénétrer tous les sédiments et roches. Il se trouve aussi dans des alluvions et même dans du grès. L'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres.
- **Alluvions/Colluvions récentes :** Il s´agit du limon sableux-argileux-graveleux aux sable graveleux-limoneux avec des blocs (> 63 mm). La couleur est marron. La composition est très changeante.
- **Accumulations sableuses :** Les accumulations sableuses du quaternaire se trouve à côté des affleurements rocheuse ou dans des zones inondables avec des cours d´eau temporaire. Il s'agit du sable meuble éolien.
- **Terre végétale :** La terre végétale se compose des argiles limoneuses-gréseuses et du gravier. La couleurest noire à marron et la terre contient des matières organiques. L'épaisseur est entre 0,1 et 2 m.

Tableau VII-1 : Chronostratigraphie de la région avec la référence sur des roches et du tracé.

Chronostratigraphie	Lithologie	Pk
Quarternaire 3	Sable & gravier, alluvions récent	100-111+475
Quarternaire 2	Encroutement calcaire	100+450,102+550-104+200, 110+200-110+400
Quarternaire 1	Conglomerates (encroutements alluvions)	104+800-105+550



Figure VII-2 : Des encroûtements calcaires.



Figure VII-3 : Accumulations sableuses.

VII.1.3 Sismicité :

D'après le RPA99 / version 2003 du centre national de recherche appliquée en génie parasismique et la révision « court terme » du RPA 99 intitulée ADDENDA au RPA 99 (suite au séisme du 21 mai 2003), la wilaya de Djelfa et de Laghouat est classée zone « I» c'est-à-dire zone à sismicité faible.

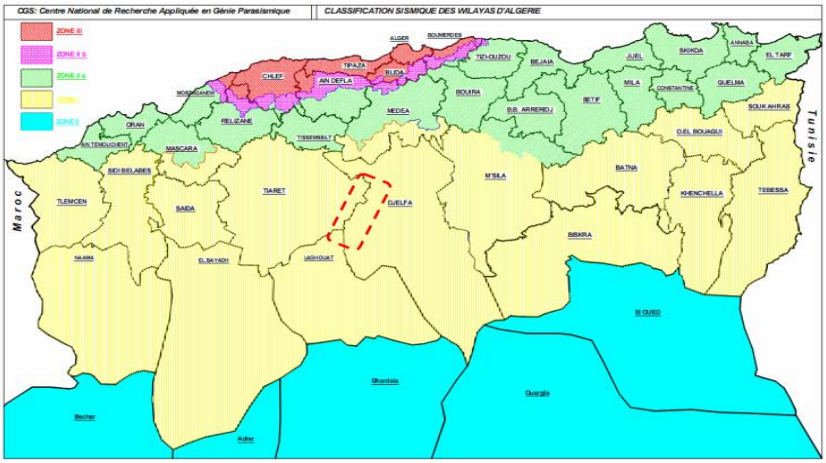


Figure VII-4 : Zones de sismicité.

Les coefficients d'accélération (A) à prendre en considération dans les calculs selon le type de l'ouvrage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VII-2 : Coefficients d'accélération.

	Zone			
Group	I	IIa	IIb	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.1	0.14	0.18

Si en considère que le projet fait partie du groupe 1A (ouvrages d'importance vitale, qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur), le coefficient d'accélération de zone « A » à prendre en considération pour le dimensionnement des ouvrages, sera de : A = 0.15.

VII.2 Etude géotechnique :

VII.2.1 Introduction :

La description géologique et l'interprétation physico-mécanique des résultats obtenus à partir des essais in-situ et en laboratoire fournissent une base de données essentielle pour formuler des recommandations géotechniques concernant la construction des remblais, ainsi que le dimensionnement des plateformes et des fondations. Ces recommandations permettent de définir les méthodes de mise en œuvre des remblais et d'établir les calculs nécessaires pour concevoir les dimensions appropriées des plateformes et des fondations.

VII.2.2 Programme d'investigation géotechnique :

Le programme de la campagne d'investigation géotechnique menée sur le tronçon spécifique de notre projet, s'étendant du pk100+00 au pk111+475, a inclus la réalisation des travaux suivants :

- **Travaux de terrain :**

La campagne d'investigation in-situ du tracé (PK 100+000 au PK 111+475), a consistait à l'exécution des essais suivant :

Tableau VII-3 : Essai et leur objectif.

Essai	Norme	Objectifs
Sondage Carottés	Xp p94-202	- Identification du sol - Description des types de formation - Prélèvement des échantillons
Essai pressiométriques	NF P94-110-1	- Détermination des pression limite et de fluage.
Puit de reconnaissance		- Evaluer l'épaisseur des sols de mauvaise qualité a décapé

- **Travaux de laboratoire :**

Des échantillons issus des sondages carottés, ainsi que des échantillons remaniés prélevés dans les puits de reconnaissances, ont fait l'objet d'analyse en laboratoire, consistant à l'exécution des essais suivants :

Tableau VII-4 : Objectif des différant essai au laboratoire.

Essais	Objectifs
Essais d'identification	- Analyses granulométriques. - Limites d'Atterberg. - Indice de consistance.
Essais physiques	- Mesures de la teneur en eau. - Mesure de la masse volumique.
Essais de portance et de compactage	- Essai Proctor. - Essai C.B.R imbibé à 4 jours.
Essais mécaniques	- Essais de cisaillement pour déterminer les cohésions et angles de frottement correspondants. - Essai de compressibilité à l'oedomètre pour déterminer la pression de consolidation (Pc), le coefficient de compressibilité (Cc), et l'indice de gonflement (Cg).

VII.2.2.1 Lot de tracé :

Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour formuler des recommandations géotechniques concernant la construction des remblai et déblai.

Tableau VII-5 : 2 Programme d'investigation de Lot tracé.

		Essai géotechnique		
Localisation	Hauteur du (Déblai/Remblai) (m)	Essai in situ	Prof (m)	Essaie au laboratoire
En section remblai				
100+000	2.95	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
100+575	2.23	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2.5	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
101+225	3.25	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3.5	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
102+625	3.85	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	4	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
103+100	1.86	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
103+700	3.54	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3.5	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
105+000	6.75	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	4	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
105+350	8.55	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	4	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
107+75	3.46	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un	4	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor.

		échantillon paraffiné par couche		- Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
108+200	2.53	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
109+800	2.45	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2.5	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
110+550	1.17	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
En section déblai				
100+275	2.05	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2.5	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
100+825	1.75	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. Essais œdométriques.
103+300	0.71	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
104+75	1.52	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
111+25	2.77	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.

VII.2.2.2 Lot ouvrage :

Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction d'ouvrage notamment d'établir les calculs nécessaires pour concevoir les dimensions appropriées des fondations.

Tableau VII-6 : Programme d'investigation de Lot ouvrage.

	Essai géotechnique		
Localisation	Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
100+745 (Passage supérieur)	- Sondage carotté. - Essai au pénétromètre statique SPT.	10	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
104+300 (Passage supérieur)	- Sondage carotté. - Essai au pénétromètre statique SPT.	10	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.
105+500 (Viaduc Oued-MZI)	- Sondage carotté. - Essai au pénétromètre statique SPT.	10	- Essai d'identification. - Essai de portance et Proctor. - Essai de cisaillement. - Essais œdométriques.

VII.2.3 Résultat et interprétation :

VII.2.3.1 Puit de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 à 4 m, ou aller jusqu'à la profondeur limite du bras mécanique de la rétro-chargeur. Ces puits nous permettent d'observer directement en profondeur la nature des formation présents, évaluer l'épaisseur de la terre végétale pour le décapage, et effectuer des prélèvements d'échantillons remaniés en vue de leur identification et de leur caractérisation géotechnique en laboratoire.

Tableau VII-7 : Descriptions des puits de reconnaissance.

Puit N°	Pk	Lithologie
1	100+250	0-0.6m : Refus sur formation de calcaire très dure avec affleurement de la rouche en surface.
2	101+300	0-0.4m : Sable fin beige jaunâtre.
		0.4-3.5m : Sable argileux rougeâtre contenant des passages durs verdâtres
3	102+700	0-0.3m : Terre végétale.
		0.3-1m : Refus dans les encroutements calcaires blanchâtre durs à 1.00 mètre linéaire de profondeur.
4	104+100	0-0.2m : Terre végétale.
		0.2-0.4 : Refus sur formation de calcaire ocre à jaunâtre très dur avec affleurement de la rouche en surface.
5	107+050	0-4m : Sable fin beige jaunâtre.
6	108+100	0-0.3m : Sable fin beige jaunâtre contenant des racines végétales (terre végétale).
		0.3-3.70 : Sable fin beige jaunâtre contenant des galets.
7	108+900	0-3.6m : Sable fin beige jaunâtre
8	109+800	0-0.3m : Terre végétale.
		0.3-2m : Argile limoneuse rougeâtre (refus a 2.00m)
9	110+300	0-0.15m : Terre végétale.
		0.15-0.8m : Refus dans les encroutements calcaires blanchâtre.

10	110+580	0-1.30m : Limon finement sableux brunâtre très peu argileux avec des graviers
		1.30-3m : Sable très fin limoneux peu argileux jaunâtre carbonaté avec des concrétions calcaires beige à blanchâtre à partir de-2.80 de profonde.
		3-3.30m : Refus sur formation de grès calcaire ocre à jaunâtre très dur à partir de -3.30 mètres
11	111+050	0-1.50m : Limon finement sableux brunâtre très peu argileux avec des graviers.
		1.5-1.70m : Refus sur formation de grès calcaire ocre à jaunâtre très dur à partir de 1.70 mètres de profondeur.

VII.2.3.2 Analyse en laboratoire :

- **Analyse granulométrique :**

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 μm) qui permet par exemple de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines) ; C'est un essai qui a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur.

Les résultats de cette analyse granulométrique sont présentés sous la forme d'une courbe appelée courbe granulométrique, qui est construite graphiquement**.**

- **Limites d'Atterberg :**

Limite de plasticité (Wp) et limite de liquidité (WL), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol : Wp sépare l'état solide de l'état plastique et WL sépare l'état plastique de l'état liquide ; les sols qui présentent des limites d'Atterberg voisines, c'est à dire qui a une faible valeur de l'indice de plasticité (IP = WL – Wp), sont donc très sensibles à une faible variation de leur teneur en eau.

- **Essai au bleu méthylène VBS :**

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

- **Essai Proctor :**

L'essai Proctor modifié est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche optimale d'un sol par compactage.

- **Essais CBR imbibés :**

Est un essai de portance qui donne l'aptitude des matériaux à supporter les charges des remblais et des couches de forme, il permet d'évaluer la traficabilité des engins des terrassements.

Les résultats des essais au laboratoire réalisé sur un échantillon prélevé avec leur classification selon GTR sont donnés par le tableau comme suit :

Tableau VII-8 : Résultats des essais de laboratoire.

Puits N°	Prof (m)	Granulométrie			VBS	Limites d'Atterberg			Proctor modifier		Indice CBR	Classification de GTR
		Dmax (mm)	%<2 mm	%<0.08 mm		W_L%	W_p%	Ip	γopm (t/m^3)	Wopm (%)		Selon la nature
Pu-2	0.60-3.80	2.5	87.70	8.60	0	39.03	30.46	8.57	1.9	19.70	4.18	B1
Pu-3	1-1.30	2.50	90.00	8.00	0.18	/	/	/	2.00	5.2	26.42	B1
Pu-5	0.00-4.00	1.2	100	4	0.09	/	/	/	1.69	12.80	17.17	B1
Pu-6	0.5-4.00	2	99.50	40.00	0	20.36	18.02	2.34	1.95	10	26.28	A1
Pu-7	3.10-3.60	2.5	99.5	62.00	0	42.55	25.34	17.21	1.8	16	10.43	A2
Pu-8	0.30-2.00	2.5	99.5	64.0	0	34.14	20.54	13.6	1.98	12.30	16.58	A2
Pu-9	0.15-0.8	10.25	82.00	53.0	0.29	/	/	/	2.02	9.20	180.61	A1
Pu-10	1.6-2.20	30	87.00	40.00	2.11	22.42	14.54	7.88	2.02	7.20	55.67	A1

- **Interprétation des résultats :**

- Les indices de plasticités « IP% » mesurés sur des échantillons prélevés de la formation naturelle en place varient entre 2 % et 13 %, ce qui révèle un sol non plastique mis à part le Puit 7 qui présente un IP peu plastique de 17 %.
- Selon les sections investiguées, le matériau testé dans les puits a révélé un sol de la classe B1 avec un pourcentage d'éléments fins (< 80µ) de 22 % au maximum, et un matériau de la classe A1 a A2 avec un pourcentage d'éléments fins (< 80µ) entre 40% et 64%.
- L'indice CBR mesurés à 95 % de la densité sèche OPM et après imbibition de 4 jours caractérise le matériau à une portance moyenne à très bonne, mis a part les puits 7 et 2 (PK 101+300) dont la portance est très faible.

VII.2.3.3 Essais de Standard Pénétration Test (SPT) :

Les résultats des essais SPT réalisés sont consignés sur le tableau donné ci-dessous :

Tableau VII-9 : Les résultats des essais SPT.

N° Sondages	Prof (m)	Nombres des coups			N2 + N3	Classification du sol selon la norme XP P94-011
		N1	N2	N3		
Sc-ob 18-16	3.00-3.32	17	58	Refus		Sol très dense
Sc-ob 19-16	3.00-3.45	18	28	35	63	Sol très dense
Sc-Ob 20-16	3.00-3.45	09	12	19	31	Sol dense

Selon la norme XP 94 011, les résultats des essais SPT obtenus montrent en général un sol dense à très dense avec parfois des passages de densité lâche à moyenne par endroit.

VII.2.3.4 Essai sondages pressiométriques :

Les résultats de ces essais ont permis d'identifier les caractéristiques mécaniques des différentes formations traversées, dont les principaux résultats sont donnés dans les tableaux ci-après :

Tableau VII-10 : Résultat essai pressiométrique :

Sondage	Profondeur (m)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Module pressiométrique E (bars)
PR -OB- 04-16 : Pk110+800	2	6.56	4.56	119.51
	4	12.47	7.71	361.77
	6	11.37	6.54	326.14
	8	27.51	18.01	416.99
	10	29.67	17	975.51
	12	30.65	18.54	1007.91
	14	34.28	17.54	757.80

VII.2.1 Classification du sol support selon l'UIC719R :

La classification élaborée par l'Union international des chemins de fer (UIC) a été adopté pour la classification du sol support le long du tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques. Selon la nature pétrographique et la classe GTR du sol excavé, la classe de terrain identifié sur tracé correspond au Qs1 et Qs2, mis à part les grés durs et les calcaires rocheux qui appartiennent à la classe Qs3.

Tableau VII-11 : La classification du sol selon l'UIC.

Pk Déblai		**Longueur (m)**	**Nature géotechnique**	**Classe de la plateforme**
Début	Fin			
100+000	100+517	517	Refus sur formation de calcaire très dur avec affleurement de la roche en surface	Qs2
100+669	101+012	342	Sable fin sur les argiles	Qs1
102+659	102+677	18	Terre végétale sur des encroûtements de calcaires durs en profondeur	Qs3
103+023	103+114	91	Des encroûtements de calcaires, sable fin	Qs3
103+197	103+415	218	Calcaire et altéré par endroit sur le sable fin limoneux carbonaté puis les calcaires en profondeur	Qs2 à Qs3
104+006	104+508	501	Sable éolien sur les calcaires avec affleurement de la roche en surface, sable fin limoneux	Qs2
107+950	107+970	20	Sable fin contenant des galets	Qs1 à Qs2
108+091	108+133	42	Terre végétale sur sable fin contenant des galets	Qs1 à Qs2
110+213	110+356	143	Terre végétale sur les encroûtements de calcaires durs	Qs3
110+574	111+475	901	Sable sur le sable argileux limoneux ; terre végétale sur sable fin puis l'argiles limoneuse, carbonaté	Qs1

VII.3 Conclusion :

D'après l'étude géologique et géotechnique, le sol support le plus fréquemment rencontré le long du tracé est en majorité de classe de qualité Qs2 (Sols moyens).

Chapitre VIII : Assise ferroviaire.

VIII. Assise ferroviaire.

VIII.1. Introduction :

La structure d'assise ferroviaire constitue par plusieurs couches de matériaux différent dont les rôles complémentaires contribuent à assurer le bon comportement de la voie des points de vue rigidité, tenue de nivellement et drainage. Cette structure se compose des couches suivantes, comme illustré dans figure ci-dessous :

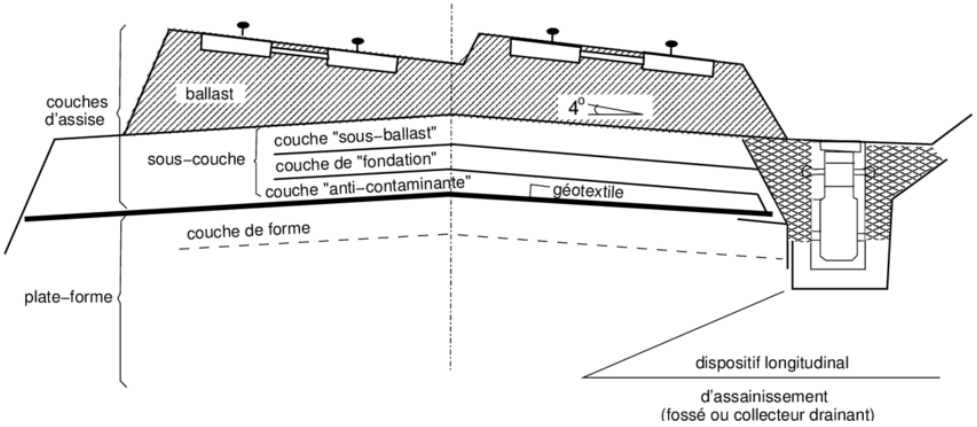


Figure VIII-1 : Structure d'assise ferroviaire.

VIII.2. Couche de Ballast :

Le ballast est un matériau granulaire placé dans la partie supérieure des structures d'assise et entre les traverses. Ce granulat provient du concassage de riches extraites dans des carrières de pierre dures.

VIII.2.1. Rôle de ballast :

Couche de ballast joue un rôle très important dans le système de la voie ballastée. Elle a différentes fonctions :

- Assurer le drainage immédiat des eaux pluviales dans la voie.
- Constitue un amortisseur de vibration très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attraction des éléments de ballast).
- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.

VIII.2.2. Caractéristique de ballast :

Le ballast utilisé en chemin de fer doit posséder au moins les qualités suivantes :

- 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 %.

VIII.3. Sous couche :

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

VIII.3.1. Rôle de la sous-couche :

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

VIII.4. Plateforme :

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

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 sont réputées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
  - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales, longitudinales ou verticales.
  - 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 Qs_i 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.

D'après l'étude géotechnique réalisée dans le chapitre précédant, la classe de qualité des sols de la plateforme indique que la classe prédominante dans cette zone est la classe **QS2** (Sols moyens).

VIII.4.2. La classe de portance de la plateforme :

La portance d'une plate-forme dépend :

- La qualité du sol qui compose le corps du remblai ou la qualité du sol en fond de 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 suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- P1 : Mauvaise Plate-forme.
- P2 : Plate-forme moyenne.
- P3 : Bonne Plate-forme.

Le tableau suivant permet de déterminer la classe portance de la plateforme et l'épaisseur de la couche de forme qui convient :

Tableau VIII-1 : Classification de portance des plateformes selon UIC719R.

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de la forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale : ef(m)
Qs1	P1	Qs1	-
	P2	Qs2	0,50
	P2	Qs3	0,35
	P3	Qs3	0,50
Qs2	P2	Qs2	-
	P3	Qs3	0,35
Qs 3	P3	Qs3	-

- **Couche de forme :**

Pour une voie rapide (V>220Km/h), la plateforme doit être de type PF3 (plate-forme de bonne qualité), ce qui nécessité de mise en place d'une couche de forme de type S3, on aura :

- Sur les matériaux QS2 on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 35 cm.

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

L'étude des couches de la plate-forme a été réalisée en accord avec la fiche UIC 719, où l'épaisseur de l'ensemble ballast+sous-ballast est donnée par l'expression :

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

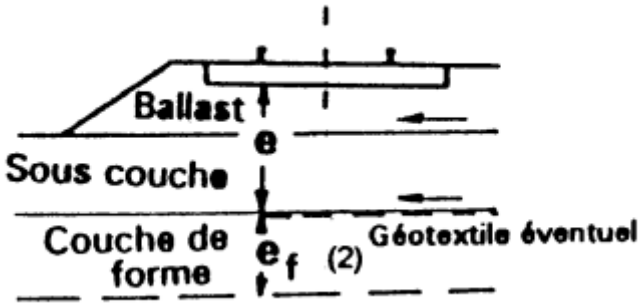


Figure VIII-2 : Les épaisseurs des couches d'assise.

Tableau VIII-2 : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).

Paramètres de dimensionnement	Epaisseur (m)	Conditions
E	0.70	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45	Pour les plateformes de classe de portance P3
a	0	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	b= (2.50-L)/2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	0	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ‘’7, 8 et 9 sans voyageurs’’
d	0	Lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieure ou égale à 20 tonne/essieu.
	0.05	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	0	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.10	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse
g	0.01	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3

VIII.6. Application au projet :

L’épaisseur des différentes couches est :

Tableau VIII-3 : Dimensionnement de la couche d’assise.

	Epaisseur (m)		
Paramètre	En pleine voie	En gare	Description
Ballast (m)	0.30	0.30	
Traverses L	2.42	2.244	
E	0.45	0.45	Une plate-forme de classe P3
a	0	0	Les lignes étudiés des groupes UIC 1 et 2
b	0.04	0.128	Traverses
c	0	0	Pour un dimensionnement normal
d	0.05	0.05	Charge par essieu =22 ,5 tonne/essieu
f	0	0	Pour une ligne de grande vitesse et une Plateforme de portance P3.
g	0	0	Sans géotextile en sol QS3.
Epaisseur de e (m)	0.55	0.65	

Tableau VIII-4 : Structure de la voie.

Couche	Epaisseur (m)	
	En pleine voie	En gare
Ballast	0. 30	0. 30
Sous-ballast	0. 25	0.15
Couche de fondation		0.25
Couche de forme	0. 35	0. 35

VIII.7. Conclusion :

Le dimensionnement permet de mettre en évidence l'épaisseur des différentes couches qui doivent être présentes pour supporter et diffuser les charges transmises par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algérie.

Chapitre IX : Profil en travers.

IX Profil en travers.

IX.1 Introduction :

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

On distingue deux types de profil :

- **Profil en travers type** : Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc.…).
- **Profil en travers courant :** Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet, devers de la plate-forme.

IX.2 Les éléments du profil en travers :

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

IX.2.1 Eléments de superstructure :

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

IX.2.2 Éléments d'infrastructures :

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

IX.2.3 Éléments du talus :

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

IX.2.4 Eléments d'assainissement :

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

IX.3 Profil type de notre projet :

IX.3.1 Pleine voie :

Le profil en travers type est caractérisé de la manière suivante :

- Ecartement de la voie : 1.435 (standard)
- Largeurs de la plateforme : 8m.
- Pente latérale de la plateforme :4%
- Pente latérale de la couche du ballast :2/3
- Epaisseur du sous ballast :25 cm.
- Epaisseur de couche de forme :35 cm.

- Pente (déblai :1/3 et remblai :1/2).
- Fossé trapézoïdal (b=0.6m :h=0.6m).

IX.3.2 Pont ferroviaire :

Les caractéristiques pour le profil en travers type de la voie double sont les suivantes :

- Ecartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur du tablier : 10,70 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de la plateforme : 1.5%.
- Epaisseur de ballast : 35 cm.

IX.4 Calcule des cubatures :

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

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

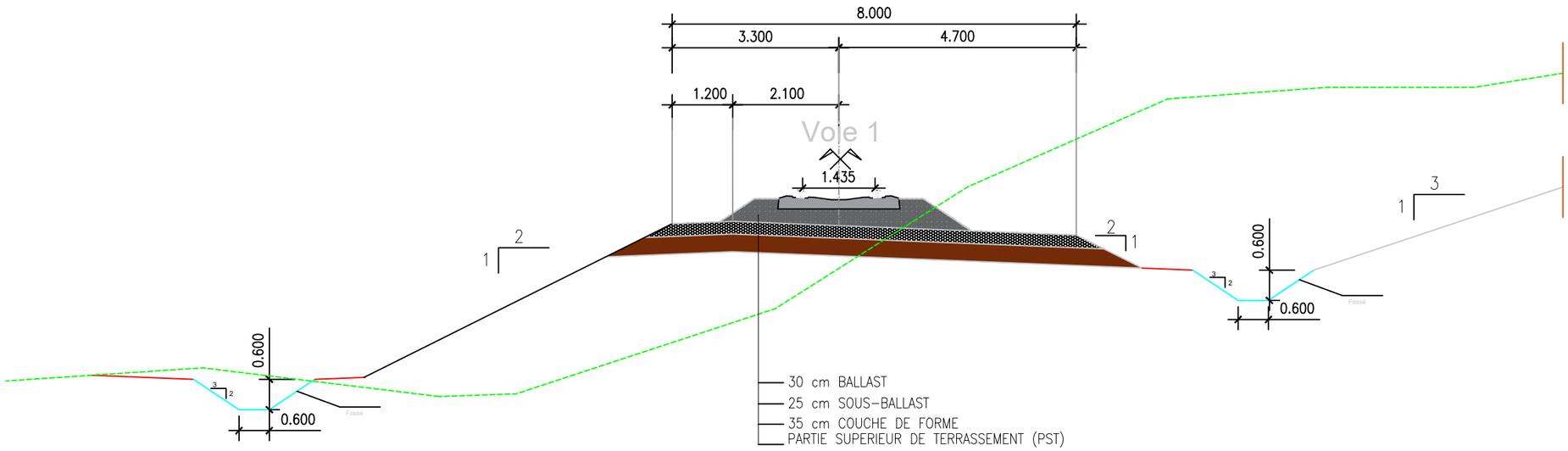
- Les profils en long
- Les profils en travers
- Les distances entre les profils.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel COVADIS 16. Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique :

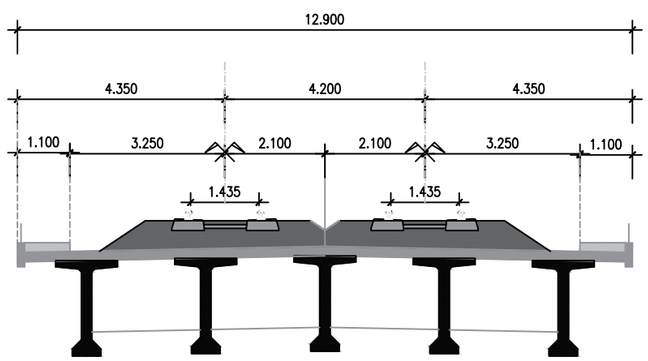
Tableau IX-1 : Les cubatures de terrassement.

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)
248 532,7	406 347,1

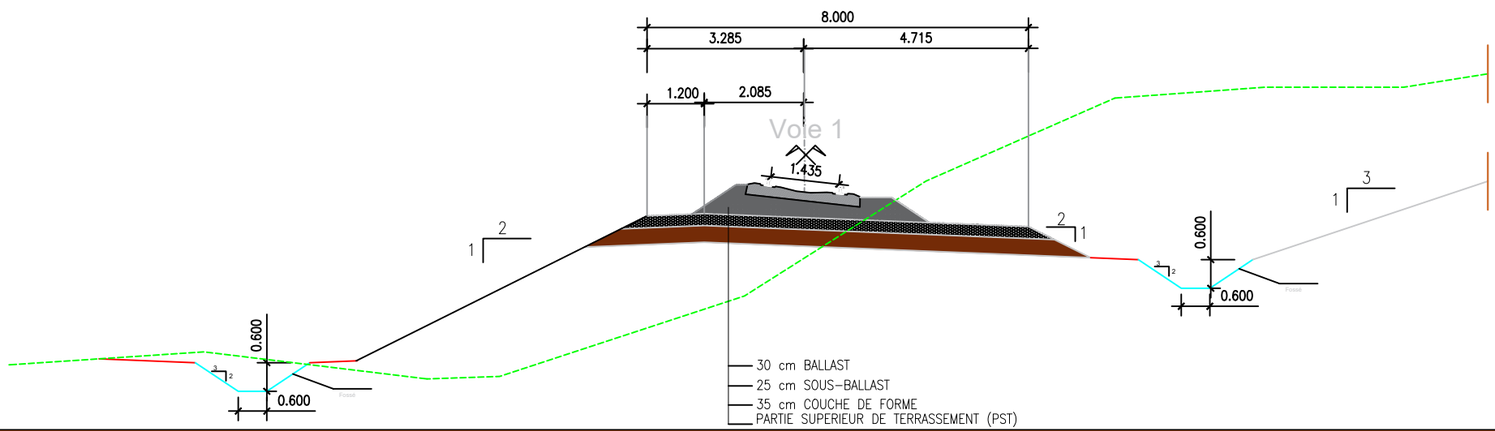
PROFIL EN TRAVER TYPE
PLEINE VOIE



PROFIL EN TRAVER TYPE
PONT FERROVIAIRE



PROFIL EN TRAVER TYPE
VOIE UNIQUE EN COURBE



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N°Planche	Année universitaire
Étude en APD de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK 100+000 au PK111+475 avec conception de la gare de Laghouat.	Profil en Travers type le long du tracé	MAGRI-ELOUADJERI Abdelkader	ALLIOUA Badis	1/100 1/125	3	2022 / 2023

Chapitre X : Terrassement et ouvrages d’art.

X Terrassement et ouvrages d'art.

X.1 Terrassement :

Le tracé du projet reliant la ville de Djelfa à la ville de Laghouat entre le PK 100+000 jusqu'au PK 111+475 est caractérisé par un relief relativement plat. La morphologie plate est interrompue par quelques collines.

X.1.1 Déblais :

L'étude des déblais dépend de la nature des formations recoupées. Il faut distinguer les sols meubles des terrains rocheux.

X.1.1.1 Caractéristiques des déblais :

Les caractéristiques des déblais sont visibles dans le tableau suivant :

Tableau X-1 : Caractéristique des déblais.

Pk déblai		Hauteur max à l'axe (m)	Longueur (m)	Talus [v :h]
Début	Fin			
100+150	100+420	2.05	270	1 :3
100+720	100+925	1.75	205	1 :3
103+235	103+485	0.71	250	1 :3
104+000	104+485	1.44	485	1 :3
110+800	111+475	9.92	675	1 :3

X.1.1.2 Stabilité de déblais :

Le calcul de déblai a été effectué sur la section transversales de PK 111+425.

Le tableau suivant présente les paramètres caractéristiques du sol dans la section citée précédemment.

Tableau X-2 : Caractéristique de sol en zone de déblai.

Section	Type du sol	Angle de frottement Φ	Cohésion C(KN/m²)	Poids volumique humide γ_h((KN/m^3)
111+425 (H=9.92m)	0.0-0.4m : Terre végétale	-	-	-
	0.4-1.2m : Sable fin	30	25	20
	1.2-12m : Argile limoneuse carbonaté	17.5	25	20
	De 12m : sable argileux limoneux	35	-	20

- **Modèle de charge :**

- **Poids propre du sol :**

Dans les calculs les poids propres du sol du terrain adjacent ont été respectés.

- **Charge d'exploitation :**

Une charge de bloc de 15 KN/m² est appliquée comme charge équivalente de trafic du site.

- **Sismicité :**

Conforme au chapitre (étude géologique) le coefficient d'accélération est A=0.15.

Les coefficients d´accélération kv et kh sont :

- kh= 0.5 x A = 0.5 x 0.15 = 0.075.
- kv = 0.3 x kh = 0.3 x 0.075 = +/-0.0225.

- **Facteurs de sécurité globaux:**

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération sont les suivant :

Tableau X-3 : Valeurs minimaux des facteurs de sécurité.

Combinaison de charge	Facteur de sécurité demandé F
Poids propre + charge d'exploitation.	F ≥ 1.5
Poids propre + charge d'exploitation + sismicité.	F ≥ 1

- **Résultats :**

Les calculs géotechniques ont été réalisés avec le **logiciel HYRCAN**. Résultat est donné dans le tableau suivant :

Tableau X-4 : Résultat d'étude de stabilité.

Section	Sécurité globaux F combinaison de charge 1	Sécurité globaux F combinaison de charge 2
Pk111+425	F =2.226 ≥ 1.5	F =1.778 ≥ 1

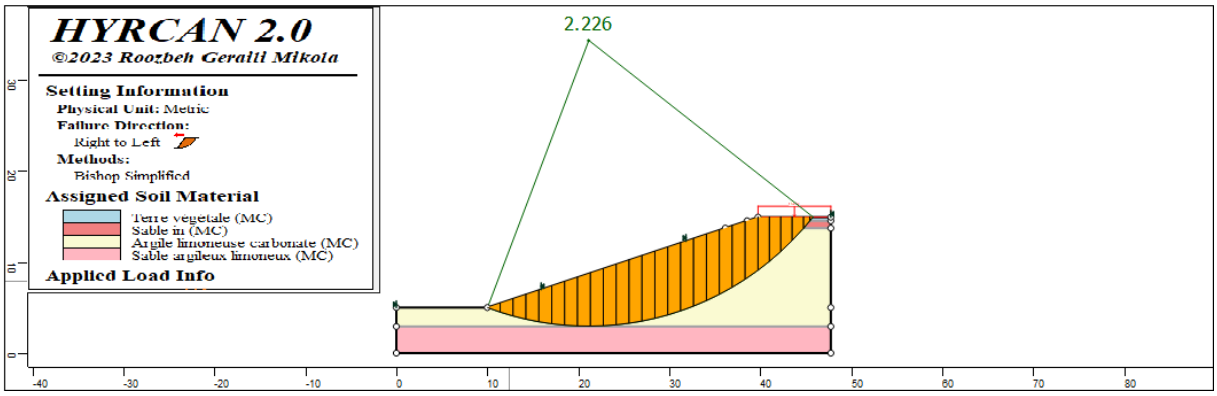


Figure X-1 : Etude de stabilité de talus déblais (Cas statique)

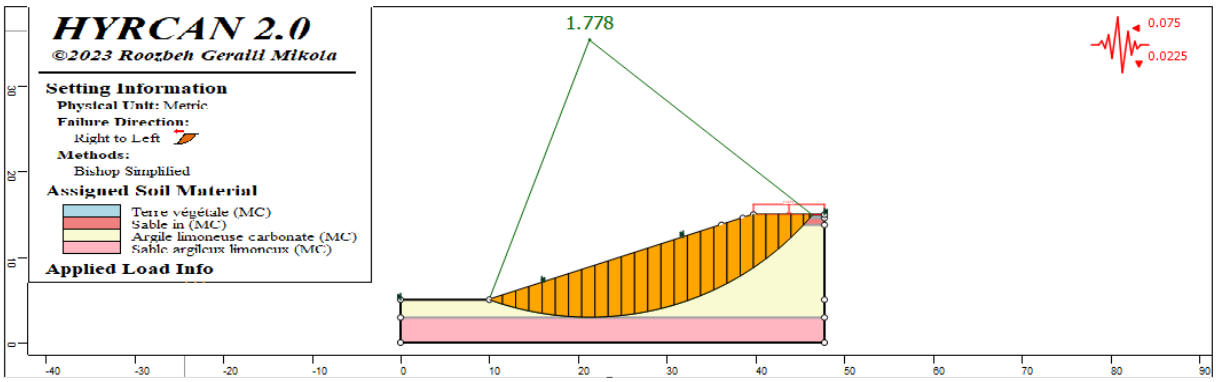


Figure X-2 : Etude de stabilité de talus déblais (Cas de séisme)

X.1.2 Remblais :

Pour l'étude des remblais, le sous-sol et les zones inondables jouent un rôle essentiel. La plupart des tronçons du tracé est située sur un terrain relativement plat, à l'exception de partie du PK 104+800 au 106+200 (oued Mzi). Sur ce tronçon, il y a un talus d'une hauteur de plus de 5 m. La hauteur maximum de talus dans cette partie est 9.63 m.

X.1.2.1 Caractéristiques des remblais :

Les caractéristiques des déblais sont visibles dans le tableau suivant :

Tableau X-5 : Caractéristique des remblais.

Pk déblai		Hauteur max à l'axe (m)	Longueur (m)	Talus [v :h]
Début	Fin			
100+000	100+150	2.95	150	1 :2
100+420	100+720	2.23	300	1 :2
100+925	103+235	5.37	2310	1 :2
103+485	104+000	4.44	515	1 :2
104+485	105+425	9.31	940	1 :2
105+875	110+225	9.91	4350	1 :2
110+250	110+800	1.46	550	1 :2

X.1.2.2 Stabilité des remblais :

Les calculs des remblais ont été faits sur la section transversale qui a la hauteur la plus importante Pk106+75 (9.91m).

Le tableau suivant présente les paramètres caractéristiques du sol dans la section citée précédemment.

Tableau X-6 : Caractéristique de sol en zone de remblais.

Section	Type du sol	Angle de frottement Φ	Cohésion C(KN/m²)	Poids volumique humide γ_h(KN/m^3)
106+75 (H=9.91m)	0.0-2.0m : Sable limoneux	35	-	20
	De 2.0m : Sable fin	30	-	20

- **Modèle de charge :**

- **Poids propre du sol :**

Dans les calculs les poids propres du sol du terrain adjacent ont été respectés.

- **Charge d'exploitation :**

Comme charges équivalentes pour la charge vive (trafic ferroviaire) une charge de bloc de 50 kN/m².

- **Sismicité :**

Conforme au chapitre (étu0de géologique) le coefficient d'accélération est A=0.15.

Les coefficients d´accélération kv et kh sont :

- kh= 0.5 x A = 0.5 x 0.15 = 0.075.
- kv = 0.3 x kh = 0.3 x 0.075 = +/-0.0225.

- **Facteurs de sécurité globaux:**

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération sont les suivant :

Tableau X-7 : Valeurs minimaux des facteurs de sécurité.

Combinaison de charge	Facteur de sécurité demandé F
Poids propre + charge d'exploitation.	F ≥ 1.5
Poids propre + charge d'exploitation + sismicité.	F ≥ 1

- **Résultats :**

Les calculs géotechniques ont été réalisés avec le **logiciel HYRCAN**. Résultat est donné dans le tableau suivant :

Tableau X-8 : Résultat d'étude de stabilité.

Section	Sécurité globaux F combinaison de charge 1	Sécurité globaux F combinaison de charge 2
Pk106+75	F = 1.602 ≥ 1.5	F =1.367 ≥ 1

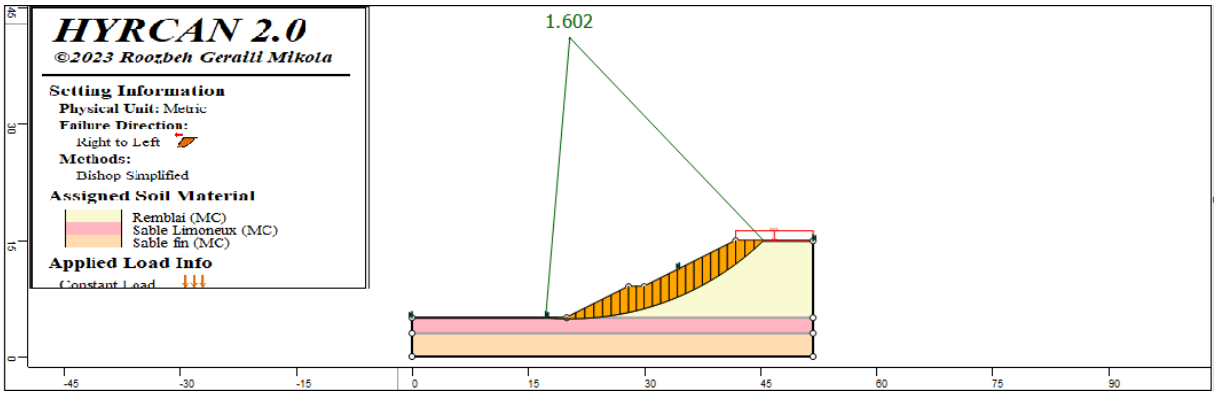


Figure X-3 : Etude de stabilité de talus remblais (Cas statique).

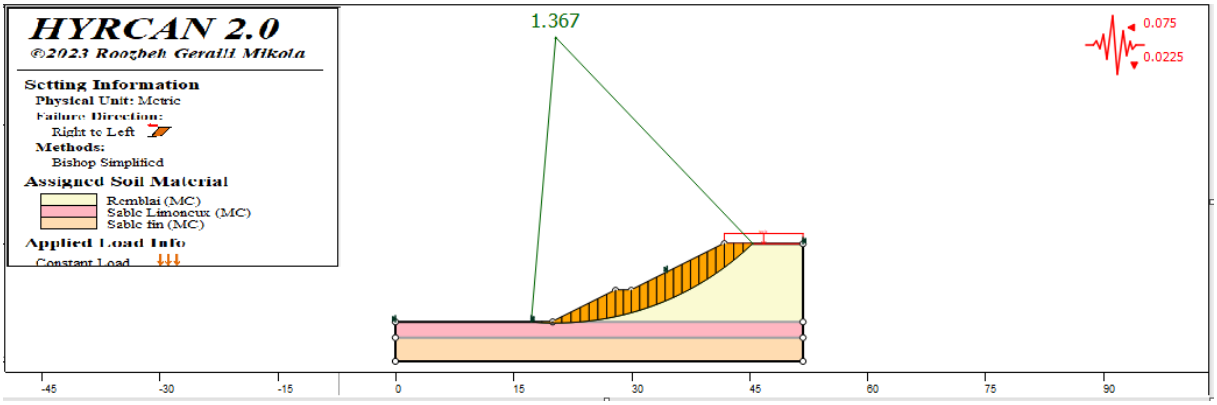


Figure X-4 : Etude de stabilité de talus remblais (Cas de séisme).

X.1.2.3 Les remblais en zone inondable :

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité (voire figure), ils doivent être protégés par des enrochements latéraux ou des perrés avec, interposition d'un dispositif anti-contaminant entre corps de remblai et enrochement. Le géotextile, améliore la qualité anti-contaminante des structures d'assise, il facilite également la mise en œuvre des couches d'assise en évitant l'orniérage des couches de forme en sol QS1 et QS2.

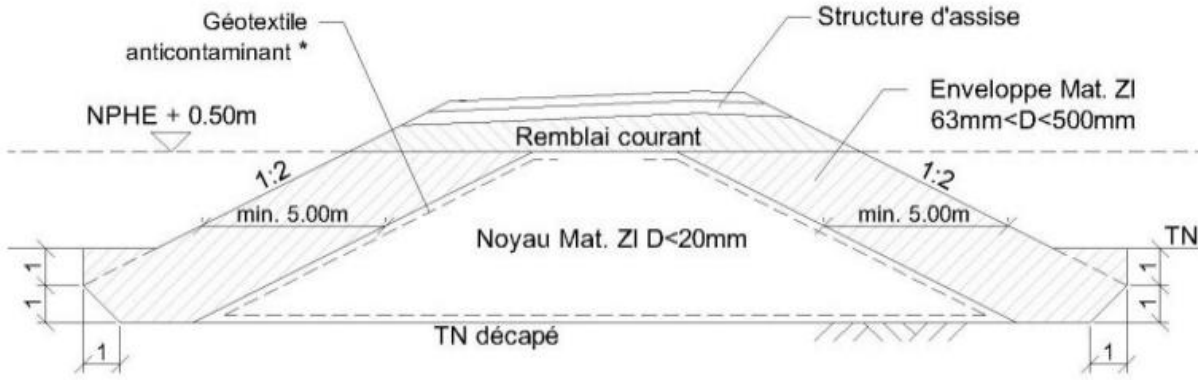


Figure X-5 : Remblai en zones inondables avec noyau et enveloppe.

X.1.3 Protection des talus :

Pour pallier essentiellement au problème d'érosion par l'action des eaux superficielles, les talus de déblais et remblais auront un revêtement végétalisé (implantation d'arbustes).Le revêtement recommandé d'une épaisseur moyenne de 0.15 m devra être fait avec les matériaux autochtones Object de décapage, vu qu'ils sont parfaitement adaptés aux condition climatique de la région.

X.2 Ouvrage d'art :

Un ouvrage d'art dans le contexte d'un projet ferroviaire fait référence à toute structure construite pour permettre le passage du chemin de fer au-dessus ou en dessous d'un obstacle naturel ou d'une infrastructure existante. Ces ouvrages peuvent inclure :

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

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

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

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

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

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

X.2.2 Croisement avec une route :

En général, la problématique des croisements doit tenir compte de la nature et du débit de la voie afin d'analyser, au cas par cas, tous les types de croisements en fonction de la vitesse maximale autorisée.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur de la route** : Si la vitesse des trains est importante ≥ 100 km/h et si la topographie ne le permet pas.
- **Passage inférieur de la route :** rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).
- **Passage à niveau :** pour les routes de faibles débits

Dans le cadre de notre projet, avec une vitesse du train de 220 km/h, nous optons donc pour l'utilisation de passages supérieurs.

X.2.3 Les ouvrage d'art de notre projet :

Liste des ouvrages pour mon projet :

Tableau X-9 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet.

Type de passage	Localisation
Buse	100+533
Buse	100+555
Passage supérieur de piste	100+745
Dalot	101+375
Dalot	101+559
Buse	102+204
Buse	102+858
Dalot	103+732
Passage supérieur routier	104+300
Pont rail	105+500
Dalot	108+465
Buse	110+160
Buse	110+622
Buse	111+475

Chapitre XI : Conception de la gare Laghouat.

XI Conception de la gare Laghouat.

XI.1 Introduction :

Une gare ferroviaire est une infrastructure où les trains s'arrêtent pour prendre et déposer des passagers et des marchandises. Les gares ferroviaires sont des éléments clés du réseau de transport ferroviaire, reliant différents endroits et permettant aux voyageurs de se déplacer d'un lieu à un autre en train.

Il existe plusieurs types de gares qui se distinguent :

- **Gare de voyageur :**

Les gares de voyageurs se trouvent principalement dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les autres modes de transport urbains. On peut distinguer deux types de gares dans cette catégorie : les gares terminus et les gares de passage.

- **Gare marchandise :**

Les gares de marchandise sont situées dans d'importants sites industriels, agricoles et commerciaux, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries et des grands laboratoires.

Les gares de marchandise sont responsables de toutes les installations de chargement, de déchargement et de stockage des marchandises. Délivrés et reçus par eux.

- **Gare mixte :**

Une gare mixte est une gare qui combine à la fois des services ferroviaires de passagers et de marchandises. Cela signifie que la gare est conçue pour accueillir à la fois les trains de voyageurs et les trains de marchandises.

- **Gare de croisement :**

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

XI.2 Aménagement de la gare :

XI.2.1 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…etc.

- **Quai :**

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

- **Abris de quai**

C'est une installation sur le quai dans le but de protéger les voyageurs des intempéries.

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

Les passages souterrains et les passerelles sont des installations complémentaires souvent présentes dans les gares pour faciliter la circulation des passagers et assurer leur sécurité.

XI.2.2 Marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de sécurité est la portion de voie qui se situe en aval d'un signal fermé, et où aucun autre train n'est autorisé à circuler. Dans certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

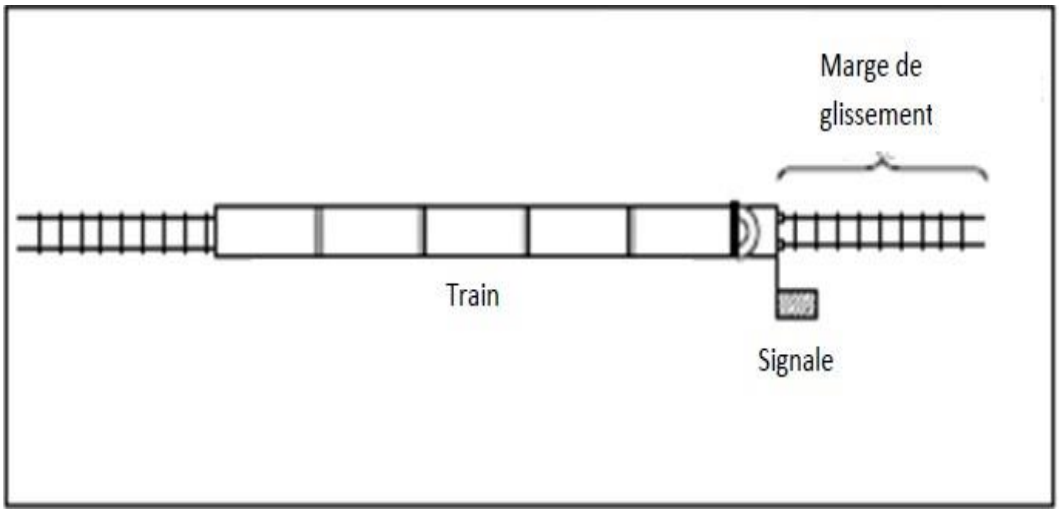


Figure XI-1 : Schématisation de la marge de glissement.

Elle a pour but de de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsque le train ne peut s'arrêter avant cette marge faute de freinage ou de glissement des rails.

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

$50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

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

XI.2.3 Garage franc :

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares.

Sur la position du garage franc théorique l'entraxe entre les deux voies est de 3.57 m, il assure qu'il y'aura pas collision entre le train dévié et le train dans la voie principale et pour la sécurité le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique.

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

Avec :

- **Tan(α) :** varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

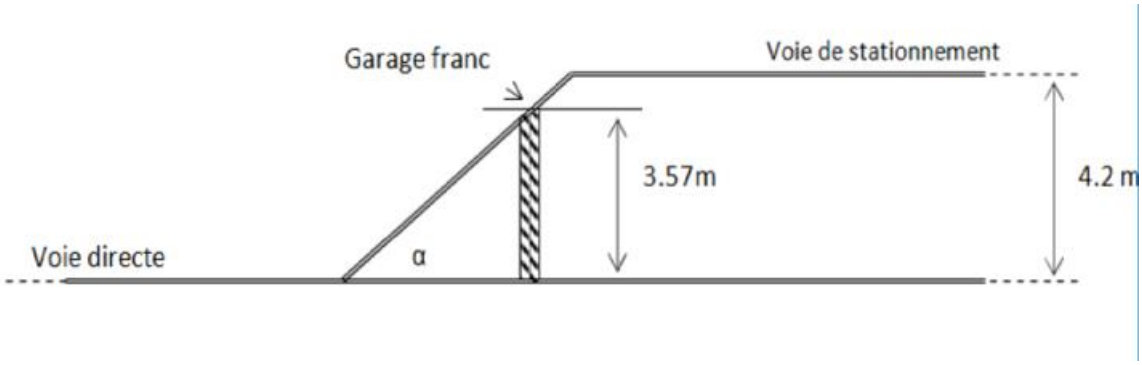


Figure XI-2 : Schéma illustratif de garage franc.

XI.2.4 Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.



Figure XI-3 : Un heurtoir.

XI.3 Caractéristiques géométriques des gares :

XI.3.1 La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire et suffisante qui permet au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisine.

La longueur utile représente donc la distance entre deux garages francs.

XI.3.2 Déclivité dans les gares :

La déclivité à la gare sera ajustée en fonction des activités prévues. Dans notre projet, nous maintenons une déclivité de 0‰ afin d'éviter tout mouvement potentiel des trains.

XI.3.3 Quais :

- **La longueur de quai (normes SNTF)**

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

- **La largeur de quai (normes SNTF)**

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

- **Hauteur des quais :**

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement sont fixée à 550 mm, dans certaine condition, une hauteur différente peut être appliquée, par exemple 760 mm pour des quais concernés par du trafic voyageurs grandes lignes.

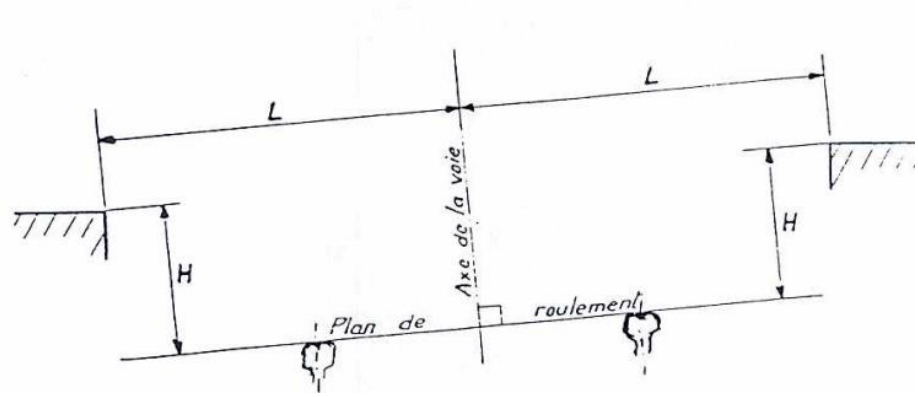


Figure XI-4 : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie.

(Source UIC741 OR).

Avec :

- H = Hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement.
- L = Distance par rapport à l'axe de la voie, parallèle au plan de roulement.

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

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

$$L\ (mm) = 1650 + Sm.$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$Sm = 3750 / R + (I-1435) / 2$$

Avec :

- I : l'écartement de la voie en mm.
- R : rayon de la voie en m.

- **L'entre axe des quais**

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

XI.3.4 Les appareils de voie :

Les exigences d'installation établies par a SNTF sont les suivantes :

XI.3.4.1 Règles d'implantation :

- **En tracé en plan :**

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

- **En pointe**

La longueur minimale d'alignement (L1) devra être égale à Vd/2, Vd étant la vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée.

- **En talon de la branche déviée**

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

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

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

- Vd < 100 : il conviendra de réserver un alignement de longueur minimale égale à Vd /2 ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif.
- 100 ≤ Vd < 160 : il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens et ce pour toute situation nouvelle.
- Vd ≥ 160 : la condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit Vd, la longueur des raccordements sera calculée afin d'obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers ΔI/Δt de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

➢ **En talon de la voie directe :**

- Longueur minimale d'alignement L2, à réserver, doit être supérieure à 50m.

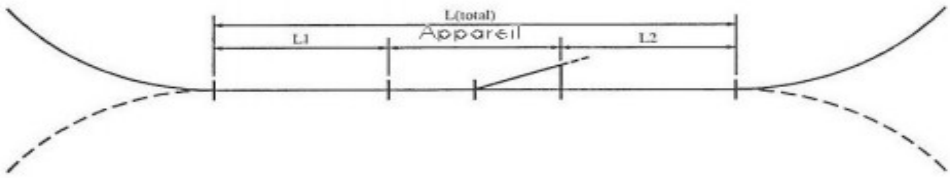


Figure XI-5 : Schéma illustratif.

XI.4 Application au projet :

La nouvelle gare de Laghouat est une gare voyageurs situé à la fin de notre tracé étudié la gare débute au pk 110+00 et se termine au pk 111+425. Cette gare est composée de trois voies qui sont les voies :1,2 et 3.

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

V ≥ 60 km/h donc LG = 200m.

- **Quais voyageurs :**

- **Quai A :** a une longueur de 350 m et une largeur de 6 mètres, localisé entre le bâtiment voyageur et la voie V3.
- **Quai B :** a une longueur de 350 m et une largeur de 8 mètres.
- **Distance par rapport à l'axe de la voie :**

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

- **Entre-axe des quais :**

  On prend : e= 14.5m (entre quai A et B).

- **Hauteur des quais :**

  On prend pour notre cas h= 55 cm

  - **Entraxe entre les voies :**

  L'entraxe est fixé à 4.2m au niveau de la gare.

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

- Voie V1 est de 1292 m.
- Voie V2 est de 1114 m.

  - **Appareils de voie :**

- Appareil de voie branchement type UIC 61, R500-1/12.
- Appareil de voie branchement type UIC 61, R300-1/9.

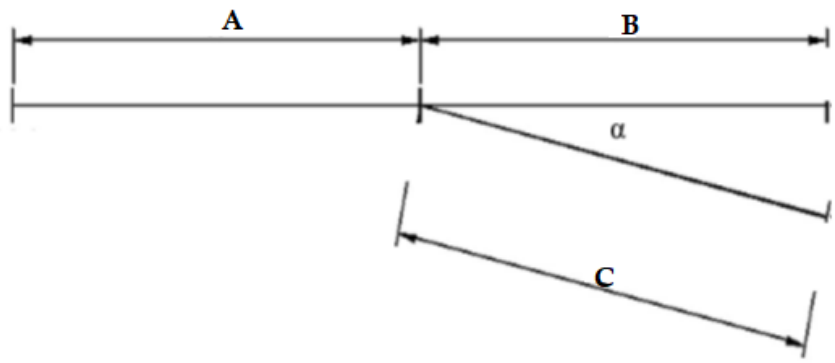


Figure XI-6 : Schéma de l'appareil de voie.

Tableau XI-1 : les caractéristiques d'appareils de voie.

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

Tableau XI-2 Caractéristiques des appareils de voies.

Nº	Ligne	Type de branchement	Direction
1	**V1**	UIC 60, R500-1/12	Gauche
2	**V1**	UIC 60, R300-1/9	Droite
3	**V3**	UIC 60, R300-1/9	Gauche
4	**V2**	UIC 60, R300-1/9	Gauche
5	**V1**	UIC 60, R300- 1/9	Gauche
6	**V1**	UIC 60, R500-1/12	Droite

- **Longueur de garage de franc**

- Pour l'appareil de voie type R500- 1 /12 : lg= 43.84m
- Pour l'appareil de voie type R300- 1/9 tg : lg= 33.13m

- **La passerelle :**

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai. On a opté à utiliser une passerelle supérieure

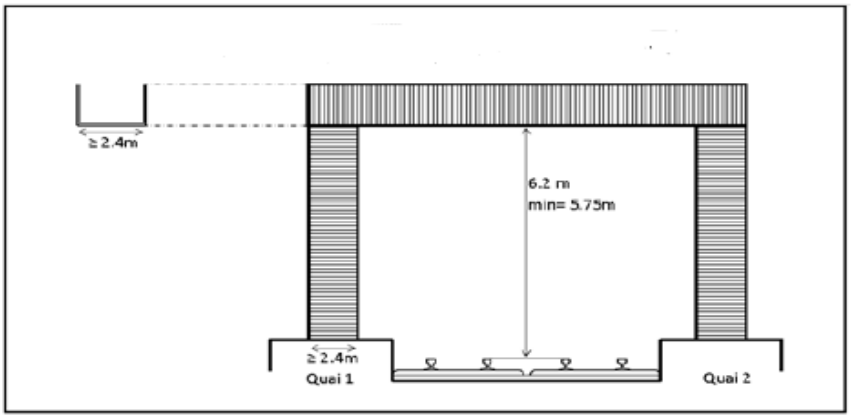


Figure XI-7 : Dimensions de la passerelle selon la norme SNTF.

XI.5 Assainissement de la gare :

XI.5.1 Assainissement transversale :

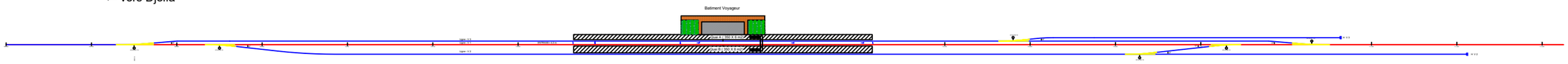
Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales, Les quais de la gare sont aménagés avec une pente transversale de 2% qui facilite l'écoulement vers les voies de circulation. De plus, la plateforme de la voie présente une pente de 4% pour assurer un bon drainage.

XI.5.2 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.

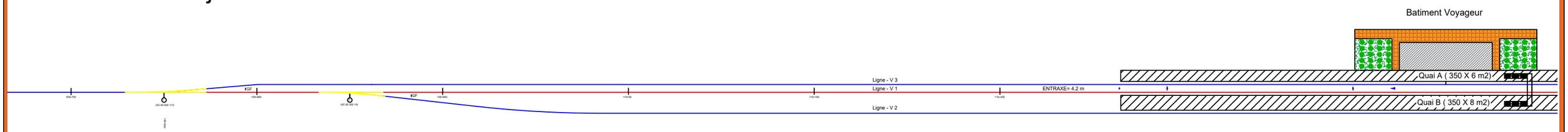
Gare Laghouat Voyageurs
PK110+490

← vers Djelfa

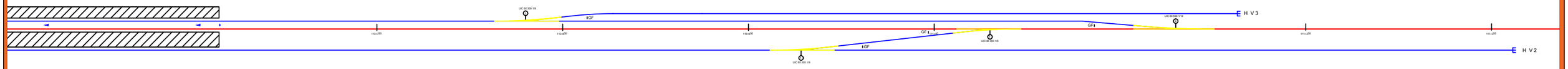


Gare Laghouat Voyageu
PK110+490

← vers Djelfa



urs

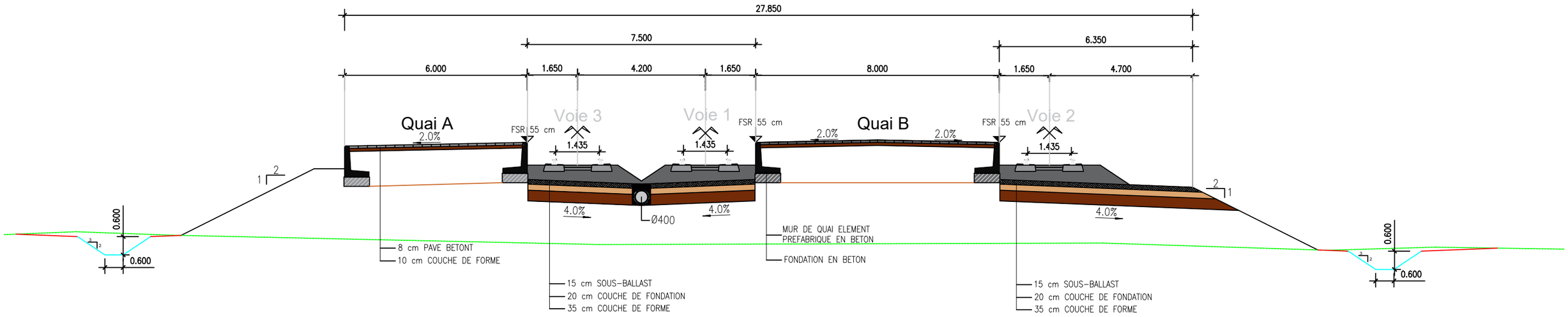


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

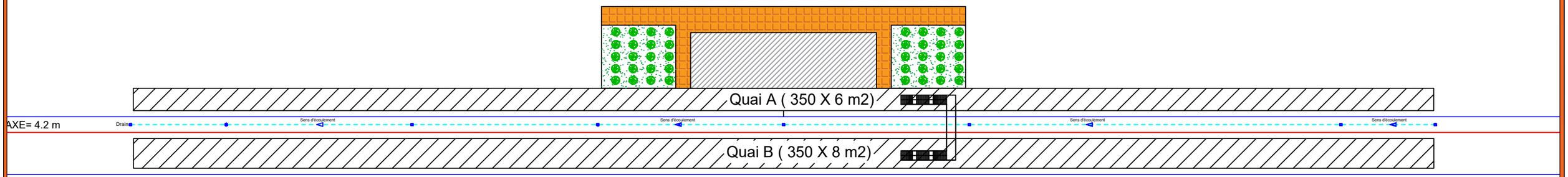
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N°Planche	Année universitaire
Étude en APD de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK 100+000 au PK111+475 avec conception de la gare de Laghouat.	Vue en plan de la gare Laghouat voyageur	MAGRI-ELOUADJERI Abdelkader	ALLIOUA Badis	1/5000 1/2000	4	2022 / 2023

PROFIL EN TRAVER TYPE
GARE DE LAGHOUATE
VOYAGEUR



Batiment Voyageur



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N°Planche	Année universitaire
Étude en APD de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK 100+000 au PK111+475 avec conception de la gare de Laghouat.	Assainissement de la gare (Profile en travers et vue en plan)	MAGRI-ELOUADJERI Abdelkader	ALLIOUA Badis	1/125 1/1000	5	2022 / 2023

Chapitre XII : Signalisation ferroviaire.

XII Signalisation ferroviaire.

XII.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système de communication utilisé sur les voies ferrées pour assurer la sécurité des trains et des personnes qui les utilisent.

XII.2 Les objectifs de la signalisation :

Les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants :

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block),
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...),
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez),
- Les risques de déraillement par excès de vitesse,

XII.3 Les signaux :

XII.3.1 Types de signalisation :

La signalisation peut être mécanique ou lumineuse.

- **En signalisation mécanique :** il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur.
- **En signalisation lumineuse :** il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

XII.3.2 Fonctions des signaux :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

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

XII.3.3 Implantation des signaux :

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

Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt,
- Distance de ralentissement.

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

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

XII.4 Les blocks :

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux ferroviaires sont appelés blocks, et leur utilisation dépend de la catégorie de la ligne. Voici quelques exemples de blocks utilisés :

- **Le block manuel (B.M.) :**

Ce système est utilisé sur les lignes à faible trafic, où les signaux sont actionnés manuellement par agent circulation. Le contrôle de l'espacement des trains est assuré par la communication verbale ou par des moyens visuels tels que les feux de signalisation.

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

Ce système est utilisé sur les lignes à trafic moyen, offrant une solution automatisée. Il permet à plusieurs trains de circuler dans un même bloc, mais avec des règles strictes concernant les distances de sécurité. Les signaux indiquent aux conducteurs si l'entrée dans un bloc est autorisée ou non.

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

Ce système est implanté sur les lignes principales à fort trafic, avec une longueur de canton limitée (de l'ordre de 1500 m avec un maximum de 2800 m), ce qui autorise un débit important. Il est conçu pour assurer une gestion automatisée du trafic en permettant à plusieurs trains de circuler dans un même block, tout en respectant des règles strictes de sécurité.

Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées en cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant.

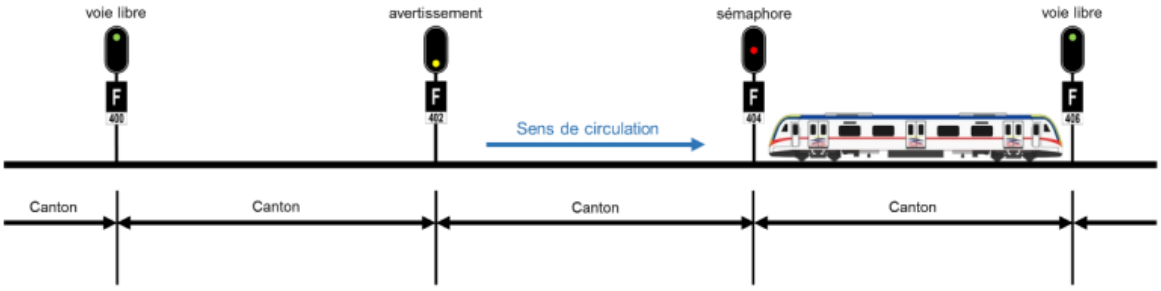
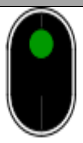
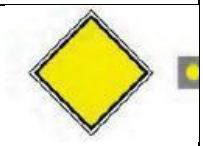
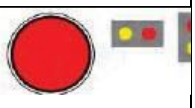


Figure XII-1 : Block automatique lumineux.

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

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

Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
Carré violet	Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.		
Guidon d'arrêt	Le guidon d'arrêt fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal		
Sémaphore	Le sémaphore fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
L'avertissement /Feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
Bande lumineuse jaune horizontale	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite.		

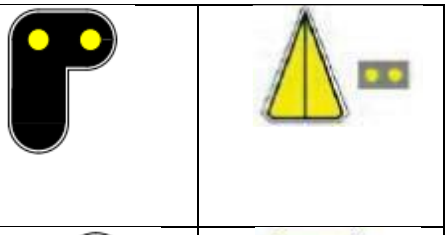
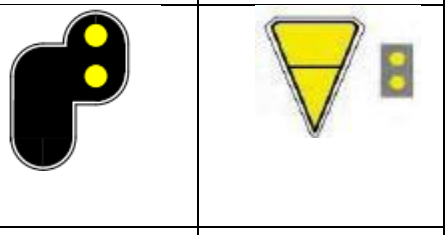
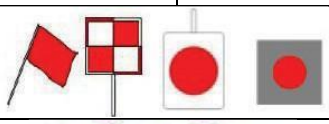
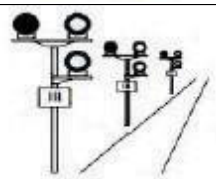
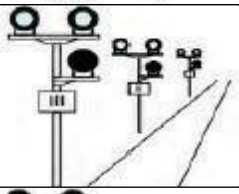
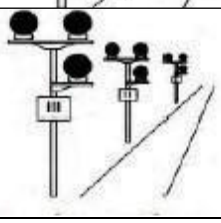
Le ralentissement 30 Fermé	Il commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.	
Le rappel 30 fermé	Il confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30 km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.	
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60 km/h Pour franchir une aiguille	
Le signal d'arrêt à main	Il commande l'arrêt immédiat	
Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire	
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F	L'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne verticale	
	Refouler par l'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.	

Tableau XII-2 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication.

Plaque d'identification	Indication
	Un signal carré
	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant

	Un sémaphore de B.A.P.R
	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
	Un disque
	Un avertissement

XII.5 Définition du système ERTMS :

ERTMS (Européen Rail Traffic Management System), qui est un système européen de gestion du trafic ferroviaire. ERTMS est un système de contrôle et de commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable pour les lignes standardisées et à grand vitesse.

- **Fonctionnement D'ERTMS :**

Avec l'ERTMS, il y a des balises au sol pour communiquer avec un autre système dans le train. Contrairement aux anciennes versions, l'ERTMS peut transmettre en continu sa position et sa vitesse via l'antenne à tout moment.

Grace à ce système les informations d'accélération et de ralentissement, d'arrêté sont transmises de façon continue et directement au conducteur de train qui peut ajuster sa conduite à tout moment donc on peut rouler plus vite et plus rapprochée donc faire passer plus de trains par heure et même faire repartir de façon plus fluide le trafic.

XII.6 Conclusion :

Le choix du système de signalisation pour la ligne Djelfa-Laghouat devrait se porter sur l'ERTMS, car il garantit une meilleure vigilance pour assurer un bon fonctionnement du transport ferroviaire et une grande sécurité pour les mécaniciens.

Chapitre XIII : Etude d’impact sur l’environnement.

XIII. Etude d'impact sur l'environnement.

XIII.1. Introduction :

L'étude d'impact sur l'environnement d'un projet ferroviaire est une étape essentielle pour évaluer les conséquences potentielles de la construction et de l'exploitation du réseau ferroviaire sur l'environnement naturel et humain.

XIII.2. Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement :

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

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

XIII.3. Description de la zone d'étude :

XIII.3.1. Milieu naturel :

Une présentation des aspects physiques caractérisant cette région contribuera à une régénération en permettant de situer cette zone dans son contexte climatique, géologique, relief, hydrodynamique et sismologique.

XIII.3.1.1. Relief :

La ville de Laghouat est située dans le Nord du Sahara, au pied de l'Atlas saharien, à une altitude moyenne de 750 mètres.

XIII.3.1.2. Climatologie :

Laghouat connaît des températures élevées tout au long de l'année. Les hivers sont généralement doux. La température varie généralement de 8 °C à °C 40.

Précipitations annuelles au niveau de la wilaya de Laghouat est relativement faibles avec une moyenne annuelle de moins de 200 millimètres.

XIII.3.1.3. Sismologie :

La wilaya de Djelfa et de Laghouat est classée zone « I » c'est-à-dire zone à sismicité faible.

XIII.3.2. Milieu humain :

XIII.3.2.1. Population :

Selon, les résultats du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2008),la population de la ville de Laghouat en Algérie est estimée à environ 144 747 habitants sur une superficie de 400 km².La densité de population du Daïra de Laghouat est donc de 362 habitants par km².

XIII.3.2.2. Agriculture :

L'agriculture à Laghouat, une ville située dans le Sahara central en Algérie, fait face à des défis en raison du climat aride et des ressources en eau limitées. Malgré ces contraintes, l'agriculture reste une activité économique vitale dans la région. Les cultures principales, telles que le blé dur, l'orge, les lentilles et les pois chiches, sont adaptées aux conditions arides et bénéficient de techniques d'irrigation efficaces telles que l'irrigation localisée et le goutte-à-

goutte pour économiser l'eau. L'élevage joue également un rôle important avec l'élevage de moutons, de chèvres et de bovins résistants aux conditions arides.

XIII.3.2.3. Les infrastructures de base :

- **Les infrastructures routières :**

La ville de Laghouat est traversée par plusieurs routes nationales importantes. La RN1 relie Laghouat à Alger, la capitale de l'Algérie, et constitue une voie majeure pour les déplacements vers le nord du pays. La RN23 relie Laghouat à Ghardaïa, une autre ville importante de la région du M'zab.

- **Les infrastructures aéroportuaires :**

La ville de Laghouat en Algérie dispose d'un aéroport, l'Aéroport de Laghouat - Moulay Ahmed Medeghri. Cet aéroport est situé à environ 7 kilomètres au nord-est du centre-ville de Laghouat.

- **Les infrastructures ferroviaires**

La ligne ferroviaire Djelfa/Laghouat (notre projet).

XIII.3.3. Milieu Biologique :

XIII.3.3.1. Flore :

La végétation de Laghouat comprend des espèces adaptées à la sécheresse, telles que les palmiers dattiers, les acacias, les oliviers sauvages, les tamaris, les euphorbes et les plantes xérophytes.

XIII.3.3.2. Faune :

La faune de Laghouat comprend une variété d'animaux adaptés aux conditions désertiques. On peut trouver des espèces telles que les lézards, les serpents, les renards du désert, les gerbilles, les fennecs.

XIII.4. Identification et description des impacts :

L'identification des impacts est une étape importante dans l'évaluation des conséquences potentielles d'un projet sur l'environnement.

XIII.4.1. Les impacts négatifs :

XIII.4.1.1. Géologie et géomorphologie :

Les principales causes des altérations géologiques et géomorphologiques locales sont les terrassements, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même.

Voici les principales conséquences :

- Augmentation des risques d'instabilité de versants.
- Changements dans la géomorphologie locale.

XIII.4.1.2. La Faune et flore :

Parmi les nombreuses atteintes au patrimoine, nous nous concentrerons sur les impacts sur la faune sauvage. Les animaux ont des itinéraires spécifiques reliant les zones où ils trouvent de la nourriture et de l'eau à des endroits propices à leur refuge et à leur reproduction. Lorsque la construction d'une nouvelle infrastructure ferroviaire perturbe ces itinéraires, les animaux cherchent à les rétablir et n'hésitent pas à traverser les voies, ce qui entraîne malheureusement des accidents.

XIII.4.1.3. La qualité de l'air :

La qualité de l'air est un facteur important étant donné que la pollution de l'air a principalement des effets nocifs sur la végétation, la faune et la santé humaine. Pendant la construction, les concentrations atmosphériques de particules, de gaz d'hydrocarbures, de fumées et d'odeurs peuvent augmenter en raison du débroussaillage, de l'excavation, du remblayage, de la circulation des machines, etc.

Cependant, une fois le projet achevé, l'impact sur la qualité de l'air pendant la phase de construction peut être pratiquement inversé, à l'exception d'une certaine quantité de polluants qui se déposent sur le sol et la végétation environnants, représentant l'unique impact résiduel.

XIII.4.1.4. Bruit et des vibrations :

En ce qui concerne le niveau de bruit, pendant la construction, les niveaux acoustiques augmenteront à la suite des travaux de débroussaillage, excavation, remblayage, mouvement des machines, etc. dans les zones proches des travaux.

XIII.4.1.5. Paysage :

La construction de voies ferrées et d'infrastructures associées peut nécessiter la déforestation, la destruction d'habitats naturels et la modification des caractéristiques géologiques du sol, ce qui peut entraîner une dégradation des zones naturelles environnantes.

XIII.4.1.6. Milieu social :

En phase de construction, il aura certains impacts sur les riverains et les usagers des routes et chemins empruntés par la voie ferrée, on peut citer :

- L'aire de travaux constituera un obstacle à la circulation locale, un effet appelé « barrière ».
- De plus, pendant la phase de construction, le mode de vie des habitants de la zone va changer, ils seront affectés par le bruit, la pollution de l'air, la présence des ouvriers, les déplacements mécaniques, l'occupation temporaire de l'espace, etc.
- Modifications de la structure d'irrigation et effet des barrières causées par les voies de circulation du personnel et des véhicules conventionnels ou agricoles associés à ces tâches.
- Enfin, il convient de mentionner la rénovation des équipements de service public.

XIII.4.2. Impacts positifs :

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

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

XIII.5. Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts :

Les mesures compensatoires sont définies comme l'ensemble des moyens envisagés pour prévenir ou réduire les impacts environnementaux. Cette étude présente une liste d'actions, de dispositifs et de méthodes de gestion alternatives qui peuvent être mises en œuvre pour prévenir, atténuer ou éliminer les effets négatifs découlant des phases de construction et d'exploitation de la nouvelle ligne ferroviaire.

XIII.5.1. Mesures applicables pour le chantier :

- Installer des clôtures autour des zones de travaux.
- Maintenir les lieux propres en ramassant et en transportant hors du chantier tous les matériaux et déchets de construction, en privilégiant le recyclage et la réutilisation autant que possible.
- Identifier les matières dangereuses qui seront utilisées et veiller à ce que leurs modes d'utilisation soient conformes aux lois et règlement.

XIII.5.2. Lutte contre l'érosion

L'observation des emprises de la voie, l'état de détérioration des drains par endroits tout au long de la voie, appellent à une prise en charge pour atténuer l'effet de l'hydromorphie des sols et évacuer l'excès des eaux de ruissellement et réduire leur stagnation.

XIII.5.3. Végétalisation

La majorité des travaux de revégétalisation doit être réalisé à la fin des travaux de terrassement et d'assainissement de la voie ferrée, ainsi qu'à la fermeture des carrières, des bancs d'emprunt et des aires de stockage en remblais. Toutes les précautions seront prises pour éviter d'endommager les travaux réalisés. Il est nécessaire de prévoir : platelages, géotextiles, vérification de surcharge ou de roulements sur ouvrages enfouis, etc.

Les travaux comprendront :

- Toutes les fournitures et le transport pour la pépinière.
- Plantation, assurance et entretien des plants.
- Préparation du terrain.
- Installer des colliers, posés du paillis, des tuteurs et des géotextiles.

XIII.5.4. Mesures préconisées pour la protection de la faune

Les passages à faune, doivent être préconisés et positionnés en fonction des observations de terrain et des informations requises par les structures forestières et agricoles (dans le cas des sangliers). Les ouvrages hydrauliques peuvent servir de passages pour un certain type d'animaux, et il est judicieux d'ajuster leur conception pour optimiser leur structure.

XIII.5.5. Mesures contre le bruit :

Les impacts sonores étant une réalité quotidienne pour les futurs résidents, il est nécessaire de prendre des mesures pour atténuer les impacts sonores des voies ferrées.

Pour répondre à ces exigences, il est recommandé d'installer des écrans antibruit. Selon l'espace disponible, cet écran peut être constitué d'un seul mur, d'un mur avec butte ou d'une butte seule. Diverses mesures d'atténuation prévisibles sont répertoriées par région.

XIII.5.6. Mesure sur les eaux superficielles et les eaux souterraines :

- La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable
- Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles.
- Le rejet à l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation.
- En cas de dépôts de fines après un orage, le nettoyage immédiat du chantier.
- Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau.

XIII.5.7. Milieu humain :

- Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes (par exemple les zones de, les fossés, etc.) qui présentent un risque d'accident
- Limiter la circulation des véhicules aux chemins d'accès et/ou aux aires désignées aux travaux d'aménagement.
- Utiliser une signalisation appropriée pour assurer une bonne circulation de la machinerie et des véhicules lourds.
- Récupérer les zones affectées après la fin des travaux, porter une attention particulière aux zones à proximité des résidences ou aux espaces pour la pratique d'activités récréatives ou touristiques.
- Travailler en dehors de la période nocturne pour réduire le dérangement aux résidents avoisinants les aires de travaux.
- Avertir et aviser les propriétaires des terrains qui seront modifié pendant la construction.
- Assurer les négociations avec les propriétaires fonciers conformément aux lois sur l'acquisition de projets de services publics.
- Maintenir l'accès aux habitations et aux secteurs utilisés pour les activités récréotouristiques ainsi qu'aux terres agricoles lors des travaux.

XIII.6. Conclusion :

L'étude d'impact sur l'environnement d'un projet ferroviaire est un processus important pour évaluer les conséquences environnementales, sociales et économiques du projet, et pour garantir une planification et une gestion responsables tout au long de sa réalisation.

Chapitre XIV : Devis estimatif et quantitatif.

XIV. Devis estimatif et quantitatif

Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Lot N°01 : Installation de chantier et étude d'exécution				
Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	244 543 997.57	244 543 997.57
Repli du matériel et des installations du chantier	F	1.00	25 008 497.85	25 008 497.85
Encadrement de chantier	F	1.00	60 363 956.24	60 363 956.24
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER				329 916 451.66
Lot N°02 : Terrassement				
Décapage de terre végétale	M^3	67 412,6	455.95	30 736 774.97
Déblai	M^3	248 705,7	600.00	149 223 420.00
Remblai	M^3	406 020,2	1000.00	406 020 200.00
Sous ballast	M^3	23 621.00	3 341.80	78 936 657.80
Couche de forme	M^3	38 095.20	1 200.00	45 714 240.00
TOTAL TERRASSEMENT				710631292,77
Lot N°03 : Travaux de la voie				
Rail UIC 60	T	1 626.16	121 250.00	197 171 900.00
Ballastage voie nouvelle	M^3	21 667,10	6 305,00	136 611 065.5
Traverses mono-bloc	U	17 500.00	10 185.00	178 237 500.00
Traverses bi-bloc	U	5 000.00	8 245.00	41 225 000.00
Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	2.00	620 000.00	1 240 000.00
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	2.00	14 200 000.00	1 240 000.00
Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	4.00	267 317.44	284 00 000.00
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	4.00	12 626 324.23	1 069 269.76
Pose de la voie UIC 60	ML	11 475.00	5 626.00	50 505 296.92
Attache NABLA	U	90 000.00	523,80	64 558 350.00
TOTAL TRAVEAUX DE LA VOIE				747 400 382.20
Lot N°04 : Assainissement généraux				
Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	11 075.00	11 400,00	126 255 000.00
Buses en béton armé diamètre 1000mm	ML	18.00	150 000.00	2 700 000.00
Buses en béton armé diamètre 1500mm	M^3	160.00	156 800.00	25 088 000.00
Dalot en béton armé (2.5x2)	M^3	322.40	147 000.00	47 392 800.00
TOTAL ASSINISSEMENT GENERAUX				201 435 800.00

Lot N°05 : Gare et ouvrages d'arts				
Bâtiment voyageur	M²	750.00	80 000.00	60 000 000.00
Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare de Laghouat.	M²	4900.00	40 000.00	196 000 000.00
Ouvrage d'art	M²	5160.00	22 000.00	113 520 000.00
TOTAL GARE ET OUVRAGES D'ARTS				369 520 000.00
Montant total hors taxe (DA)				2 358 903 926,61

Montant total en DA HT :

Deux milliards trois cent cinquante-huit millions neuf cent trois mille neuf cent vingt-six dinars et soixante et un centimes.

Conclusion générale.

Conclusion générale.

Pour notre étude en Avant-Projet Détaillé (APD) du tronçon pk 100+000 au pk 111+475 de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat, nous avons pu approfondir, compléter et mettre en pratique les connaissances acquises lors de notre formation au sein de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (E.N.S.T.P).

Ce projet lui-même nous a permis de concilier les exigences des normes en vigueur (UIC, SNTF) avec les conditions réelles sur le terrain, qu'on ne peut pas les négliger et on prend en considération le confort, la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement afin de faire un bon travail.

Ce projet de fin d'études a été régénérant, nous permettant d'enrichir nos connaissances et de comprendre en profondeur les problèmes techniques qui peuvent survenir dans un projet ferroviaire.

Par ailleurs, cela nous a permis de nous familiarise avec les logiciels Covadis 16.0, Auto CAD, Hyrcan 2.0, et on s'est rapproché du domaine professionnel des infrastructures.

La bibliographie

[1] H. LARTILEUX, GEOGRAPHIE DES CHEMINS DE FER FRANCAIS TOME 1 - VOLUME 3 : AFRIQUE DU NORD, Librairie Chaix - Paris,1949.

[2] KHELIFI.A, Etude de faisabilité et D'APD de la nouvelle ligne ferroviaire TISSEMSILT-BOUGHEZOUL Du PK 86+00 au PK108+500, Avec la conception de la gare CHAHOUNIA, Encadré par Mr. GARAIT RABAH, ENSTP,2021.

[3] SARAOUI.Y, SEDDIK.S, Etude d'un dédoublement de la voie et rectification des paramètres du tracé pour augmenter la vitesse à 160 km/h sur le tronçon du Pk1+500 au Pk 13+500 de la ligne Béni Mansour/Bejaia avec conception de la gare Tazmalt et la halte d'Allghene, Encadré par Mr. GOUMETTRE Ahmed, ENSTP, 2021.

[4] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.

[5] LEFKIR.A, RAHMANI.D, cours d'Hydraulique Applique, ENSTP, 2022.

[6] COSIDER TP, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[7] COSIDER TP, « Rapport géotechnique ».

[8] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.

[9] Monsieur Morsli, Cours de voie ferré, ENSTP, 2022.

[10] UIC741 OR, Quais des gares à voyageurs, 3eme Edition, 01/01/1993.

[11] Wikipédia : Wikipédia L'encyclopédie libre. Article disponible à l'adresse URL : https://www.wikipedia.com, consulté en ligne avant le 23 Avril 2022.

[12] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : https://www.sntf.dz/,Consulté en ligne le 25 Mai 2022.

[13] ROGER RETIVEAU, La signalisation ferroviaire (French Edition), Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées,1 janvier 1987.

ANNEXES.

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

Client : ENSTP.

LOGICIEL : COVADIS 16.0

Préparé par : MAGRI-ELOUADJER Abdelkader.

Date : 07/06/2023 à 21 :36 :01.

Axe en plan : la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat

Description : Etude APD de la ligne de chemin de fer Djelfa-Laghouat.

Plage d'abscisse : Début : 100+000 Fin : 111+475.

AXE EN PLAN						
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	276.74gr	197,120	100+000.000	484375,104	3749325,833
Clothoïde 1	Paramètre	616,441	190,000	100+197.121	484190,994	3749255,404
Arc 1	Rayon	2000.000 m	1662,340	100+387.121	484014,650	3749184,725
	Centre X	484817.121 m				
	Centre Y	3747352.775 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-616,441	190,000	102+049.460	482922,947	3747994,730
Droite 2	Gisement	217.78gr	1184,866	102+239.460	482867,695	3747812,961
Clothoïde 3	Paramètre	547,723	150,000	103+424.326	482541,092	3746673,998
Arc 2	Rayon	2000.000 m	1305,324	103+574.326	482501,553	3746529,312
	Centre X	484443.389 m				
	Centre Y	3746050.486 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-547,723	150,000	104+879.649	482609,866	3745251,616
Droite 3	Gisement	171.45gr	1371,661	105+029.649	482673,196	3745115,651
Clothoïde 5	Paramètre	-612,372	150,000	106+401.310	483267,844	3743879,590
Arc 3	Rayon	-2500.000 m	1189,048	106+551.310	483331,516	3743743,781
	Centre X	481047.165 m				
	Centre Y	3742728.033 m				
Clothoïde 6	Paramètre	612,372	150,000	107+740.359	483543,074	3742585,063
Droite 4	Gisement	205.55gr	3584,640	107+890.359	483531,503	3742435,516
				111+474.999	483219,251	3738864,502
Longueur totale de l'axe 11474.999 mètre(s)						

Annexe B : Listing du profil en long.

Client : ENSTP.

Préparé par : MAGRI-ELOUADJER Abdelkader.

LOGICIEL : COVADIS 16.0

Date : 07/06/2023 à 21 :36 :01.

Profil en long : la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat

Description : Etude APD de la ligne de chemin de fer Djelfa-Laghouat.

Plage d'abscisse : Début : 100+000 Fin : 111+475.

PROFIL EN LONG					
Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.34 %	439,001	100+000.000	814,300
Cercle 1	Rayon	-20000.000 m	233,994	100+439.001	815,793
	Sommet Absc.	100+507.001 m			
	Sommet Alt.	815.908 m			
Pente 2	Pente	-0.83 %	133,005	100+672.995	815,219
Pente 3	Pente	-0.34 %	194,006	100+806.000	814,115
Cercle 2	Rayon	-20000.000 m	171,983	101+000.006	813,456
	Sommet Absc.	100+932.006 m			
	Sommet Alt.	813.571 m			
Pente 4	Pente	-1.20 %	189,319	101+171.989	812,132
Cercle 3	Rayon	20000.000 m	249,394	101+361.307	809,860
	Sommet Absc.	101+601.290 m			
	Sommet Alt.	808.420 m			
Pente 5	Pente	0.05 %	673,005	101+610.702	808,422
Cercle 4	Rayon	20000.000 m	104,586	102+283.706	808,739
	Sommet Absc.	102+274.295 m			
	Sommet Alt.	808.737 m			
Pente 6	Pente	0.57 %	136,209	102+388.293	809,061
Cercle 5	Rayon	-20000.000 m	222,997	102+524.502	809,838
	Sommet Absc.	102+638.500 m			
	Sommet Alt.	810.163 m			
Pente 7	Pente	-0.54 %	444,002	102+747.498	809,866
Cercle 6	Rayon	-20000.000 m	28,998	103+191.501	807,446
	Sommet Absc.	103+082.502 m			
	Sommet Alt.	807.743 m			
Pente 8	Pente	-0.69 %	434,085	103+220.499	807,267
Cercle 7	Rayon	20000.000 m	102,834	103+654.584	804,272
	Sommet Absc.	103+792.581 m			
	Sommet Alt.	803.796 m			
Pente 9	Pente	-0.18 %	110,485	103+757.417	803,826
Cercle 8	Rayon	-20000.000 m	264,181	103+867.902	803,632
	Sommet Absc.	103+832.739 m			
	Sommet Alt.	803.663 m			

Pente 10	Pente	-1.50 %	443,758	104+132.083	801,423
Cercle 9	Rayon	20000.000 m	299,344	104+575.841	794,780
	Sommet Absc.	104+875.185 m			
	Sommet Alt.	792.540 m			
Pente 11	Pente	0.00 %	1096,415	104+875.185	792,540
Cercle 10	Rayon	-20000.000 m	56,800	105+971.600	792,540
	Sommet Absc.	105+971.600 m			
	Sommet Alt.	792.540 m			
Pente 12	Pente	-0.28 %	705,600	106+028.400	792,459
Cercle 11	Rayon	20000.000 m	92,000	106+734.000	790,455
	Sommet Absc.	106+790.800 m			
	Sommet Alt.	790.375 m			
Pente 13	Pente	0.18 %	340,300	106+825.000	790,406
Cercle 12	Rayon	-20000.000 m	47,400	107+166.300	791,005
	Sommet Absc.	107+201.500 m			
	Sommet Alt.	791.036 m			
Pente 14	Pente	-0.06 %	967,400	107+213.700	791,032
Cercle 13	Rayon	-20000.000 m	77,799	108+181.100	790,442
	Sommet Absc.	108+168.900 m			
	Sommet Alt.	790.446 m			
Pente 15	Pente	-0.45 %	81,101	108+258.899	790,243
Cercle 14	Rayon	20000.000 m	89,999	108+340.001	789,878
	Sommet Absc.	108+429.000 m			
	Sommet Alt.	789.676 m			
Pente 16	Pente	0.00 %	309,001	108+429.000	789,676
Cercle 15	Rayon	-20000.000 m	121,998	108+739.001	789,676
	Sommet Absc.	108+739.001 m			
	Sommet Alt.	789.676 m			
Pente 17	Pente	-0.61 %	228,003	108+860.998	789,304
Cercle 16	Rayon	20000.000 m	121,998	109+089.002	787,913
	Sommet Absc.	109+210.999 m			
	Sommet Alt.	787.541 m			
Pente 18	Pente	0.00 %	2263,999	109+210.999	787,541
				111+474.999	787,541
Longueur totale de l'axe 11474.999 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 11475.140 mètre(s)					

Annexe C 1 : Résultats du sondage carotté.

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE **Sondage N°: Sc - OB - 18 - 16**

ETUDE : Etude d'exécution ligne ferroviaire
LIEU : Djelfa - Laghouat
CLIENT : OBERMEYER

DATE DEBUT : 08.05.2016
DATE FIN : 08.05.2016
NIVEAU NAPPE : m

PROFONDEUR TOTALE : 6 ML
COORDONNEES : X = 482 449.001 Y = 3 746 202.387
Z =

BOUE DE FORAGE :
TYPE FORAGE : Carotté vertical
TYPE DE MACHINE : Térédo

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	w_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. LPC	Type Essai
0,5	40%								Sable fin limoneux rougeâtre peu graveleux légèrement argileux							
1,0									1,00							
1,5																
2,0																
2,5																
3,0		60			110		3,00									
3,5	30%						3,32		Sable fin limoneux ocre à jaunâtre carbonaté							
4,0																
4,5																
5,0																
5,5																
6,0		60							6,00							
6,5																
7,0																
7,5																
8,0																
8,5																
9,0																
9,5																
10,0																

Programme: Sollesis 2007 ©

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

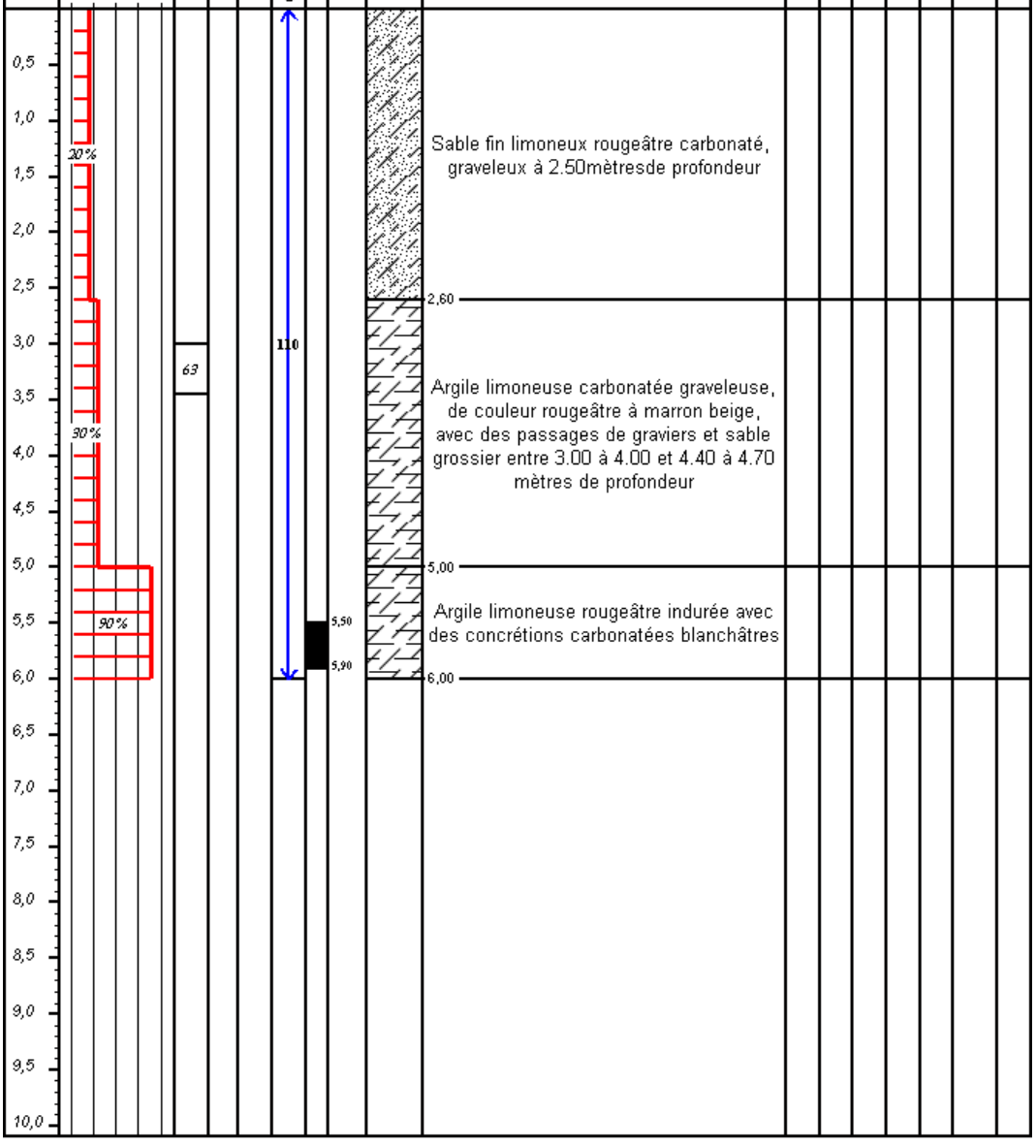
RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: Sc - OB - 19 - 16

ETUDE : Etude d'exécution ligne ferroviaire
LIEU : Djelfa - Laghouat
CLIENT : OBERMEYER

DATE DEBUT : 08.05.2016
DATE FIN : 08.05.2016
NIVEAU NAPPE : m

PROFONDEUR TOTALE : 6 ML
COORDONNEES : X = 482 678.509 Y = 3 745 091.864
Z =

BOUE DE FORAGE :
TYPE FORAGE : Carotté vertical
TYPE DE MACHINE : Térédo



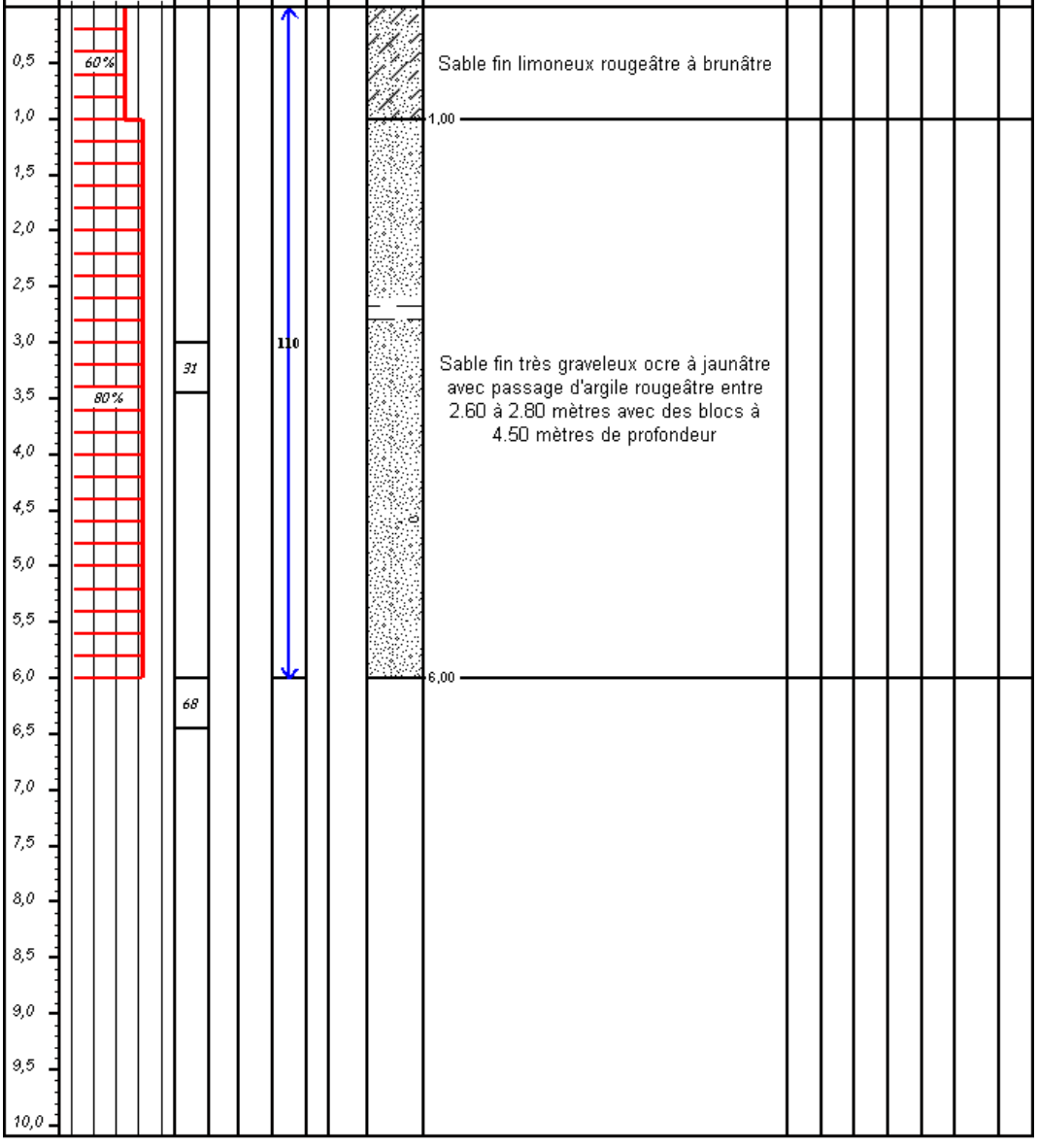
Programme: Sofitests 2007 ©

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE — Sondage N°: Sc - OB - 20 - 16

ETUDE : Etude d'exécution ligne ferroviaire
LIEU : Djelfa - Laghouat
CLIENT : OBERMEYER

DATE DEBUT : 07.05.2016
DATE FIN : 07.05.2016
NIVEAU NAPPE : m
PROFONDEUR TOTALE : 6 ML
COORDONNEES : X = 482 807.740 Y = 3 744 821.603 Z =
BOUE DE FORAGE :
TYPE FORAGE : Carotté vertical
TYPE DE MACHINE : Térédo



Programme : Sofitests 2007 ©

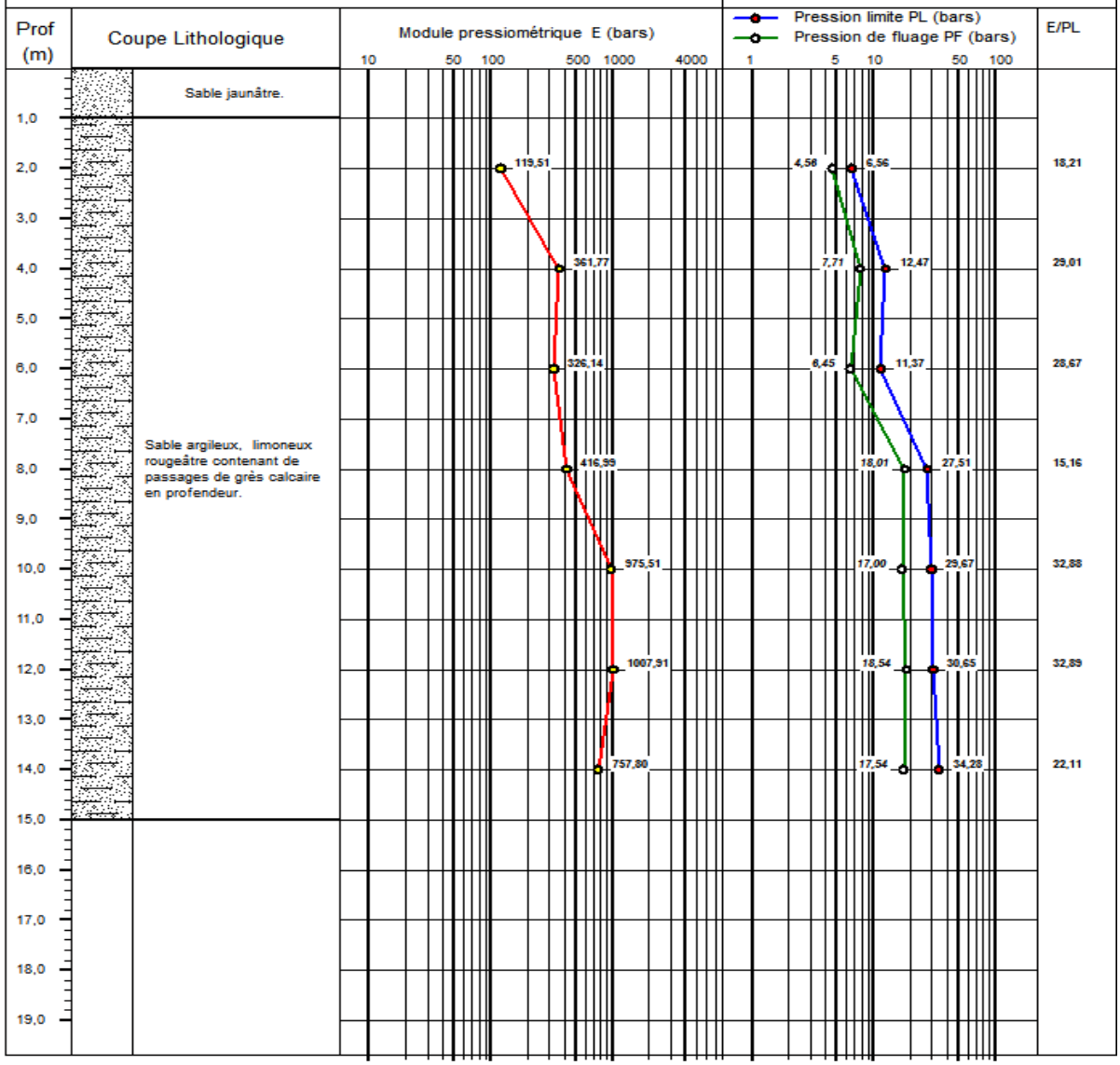
Annexe C 2 : Résultats du sondage pressiométrique.

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE SONDAGE
Essai Pressiométrique Menard
NF P 94-110-1

Projet : Etude d'exécution de la ligne ferroviaire Djelfa - Laghouat
N°Dossier : 31-15-0017
Lieu : Djelfa - Laghouat
Client : OBERMEYER
Sondage N°: PR04 Appareil: Appageo

Date essai : 21/09/2016 au 22/09/2016
Profondeur nappe / TN (m) :
Coordonnées GPS :
X : 483 344.182 Z :
Y : 3 739 847.93



Remarque :

Annexe D : Classifications des sols selon UIC.

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

Annexe F

Client : ENSTP.

LOGICIEL : COVADIS 16.0

Préparé par : MAGRI-ELOUADJER Abdelkader.

Date : 07/06/2023 à 21 :36 :01.

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux

Description : Etude APD de la ligne de chemin de fer Djelfa-Laghouat

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux	
Matériau	Volume cumulé
SOUS-BALLAST	23621,0
BALLAST	21667,1
TOUT_VENANT	38095,2