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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique AIN EL BEIDA - KHENCHELA du PK 09+000 au PK 29+000 avec l'aménagement et la conception de la gare F'KIRINA

Présenté par :

SLIMANI Belkaiss
AMERI Asmaa

Encadré par :

Mr. BOUHAMED Sidali
Mr RAHMANI Douadi

Promotion 2022 / 2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

مـــلخـــــص

المشروع الذي تهدف إليه هذه المذكرة هو إجراء دراسة تفصيلية أولية لقسم من الخط الحديدي الجديد عين البيضاء - خنشلة (من الكيلومتر 09+000 إلى الكيلومتر 29+000)، بما في ذلك تنظيم محطة فكيرينة.

تم تحديد الخصائص التقنية الأكثر ملائمة للخط الحديدي المقترح استنادًا إلى التوصيات والممارسات المتبعة من قبل الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) وغيرها من أنظمة السكك الحديدية المتقدمة، ووفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC). تم إجراء التصميم الهندسي للمشروع باستخدام برنامج COVADIS 16.0e.

RÉSUMÉ

Le projet objet de ce mémoire vise principalement à réaliser une étude détaillée préliminaire (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela (du PK 09+000 au PK 29+000), incluant l'aménagement de la gare de F'kirina.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire envisagée sera basée sur les recommandations et les pratiques suivies par la SNTF et d'autres systèmes ferroviaires plus avancés, conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été réalisée à l'aide du logiciel COVADIS 16.0e.

SUMMARY

The objective of this thesis project is primarily to conduct a preliminary detailed study (A.P.D) of a section of the new Ain El Beida - Khenchela railway line (from PK 09+000 to PK 29+000), including the development of F'kirina station.

The identification of the most appropriate technical characteristics for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices followed by SNTF and other advanced railway systems, in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC). The geometric modeling of the project has been carried out using COVADIS 16.0e software.

REMERCÎMENTS :

Avant tout, nous remercions Dieu pour le courage et la volonté que nous a donné pour terminer ce travail.

Nos remercîments vont :

À Mr BOUHAMED et Mr RAHMANI qui ont bien voulu encadrer nos travaux et qui nous ont fait bénéficier de ces orientations.

Aux professionnels de l'industrie ferroviaire, qui ont généreusement partagé leur expérience contribuant ainsi à l'élaboration de ce projet. En particulier, le personnel de INFRAFER spécialement Mr KSIRA, Mr SAADAOUI, Mr MEZIANE et Mr MESSOUDI qui nous ont encadré et assisté durant toute la période de stage ainsi que pour leur soutien et leur participation aux entretiens et aux discussions techniques pour fournir des informations et des idées précieuses qui ont enrichi ce mémoire.

À mes enseignants et encadrants, qui ont partagé leurs connaissances pour nous aider à atteindre nos objectifs et à réaliser ce mémoire. Nos penses vont à Mr Rabah MORSLI pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement. Mais aussi à Mme MAKOUDI et Mme BOUREBIA pour leur merveilleuse assistance.

À Mr BRAHIMI Azeddine pour sa permanente disponibilité, sa générosité, son aide, son soutien et précieux conseils.

Et enfin nos remerciements s’adressent également aux membres du jury d’avoir accepté d’évaluer notre modeste travail.

Dédicace

« Je dédie ce travail à ma défunte grand-mère

À mes très chers parents, pour leur sacrifice, leur disponibilité, et leur soutien tout au long de mon parcours, source de vie, d'amour et d'affection

À mes chers frères TAREK, M'HAMED, HAMZA, AYMEN pour leur appui et leur encouragement ource de joie et de bonheur

À toute ma famille, source d'espoir et de motivation

À Belkaiss, chère mon âme sœur avant d'être binôme »

AMERI Asmaa

« Je dédie ce travail :

À mes parents, dont l'Amour et le soutien inébranlables ont été la boussole tout au long de ce périple académique : vos encouragements ont été les rails sur lesquels j'ai avance avec détermination.

A ma grand-mère, pour son soutien et compassion, elle était la lune qui éclairée ma voie du parcours pour attendre la gare finale.

À mes collègues de classe, mes compagnons de l'ingénierie qui ont partagé avec moi les joies, les doutes et les découvertes de cette aventure intellectuelle.

Enfin, a l'ingénieur que je deviens, je dédie ce mémoire. Qu'il soit le point de départ d'une carrière ou chaque projet sera l'occasion d'apporter ma pierre à l'édifice, de construire des ponts entre les idées et de tracer des voies vers un avenir meilleur. »

SLIMANI Belkaiss

À Notre Promo : Rayane, Chaima, Nacim, Imed, Manel, Salim, Mehdi Malek, Racim, Ryma, Sofiane, Marwa, Kahina, Riyed, Imed, Zineb, Lamiss And Yasmine.

ABRÉVIATION

INFRAFER : Entreprise publique économique de réalisation d'infrastructures ferroviaires.
ANESRIF : Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
ONM : Office National de la Météorologie.
A.P.D : Avant-Projet Détaillé.
IRIP : Inondation par Ruissellement Intense Pluvial.
LTV : Limitation Temporaire de Vitesse.
PK : Point kilométrique.
NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.
TN : Terrain Naturel.
BV : Bassin versant.
CRS : Ciment Résistant au Sulfates.
GPS : Géo - Positionnement par satellite.
CAO : Conception Assistée par Ordinateur.
IDF : Intensité - Durée – Fréquence.
Qps : Débit pleine section.
VPs : Vtesse pleine section.
H/V : Horizontal / Vertical.
VBS : Essai bleu de méthylène.
PU : Puit de reconnaissance.
SC : Sondage Carotté.
SPT : Essai de Pénétration Standard.
CC : Chemin Communal.
RN80 : Route Nationale.
AEP : Adduction en Eau Potable.
B.V : Bâtiment Voyageurs.
ADV : Appareil De Voie.
GF : Garage Franc
Lu : Longueur Utile.
ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.

TABLE DE MATIÈRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE **P.01**

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ

I.1. LE CHEMIN DE FER **P.03**

I.2. CONSTITUTION D'UNE VOIE FERRÉE **P.03**

I.3. LES APPAREILS DE VOIE **P.04**

I.3. LES APPAREILS DE VOIE **P.04**

I.5. LE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES COUCHES D'ASSISES **P.04**

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION **P.05**

II.1. LE RUISSELLEMENT DANS LE CONTEXTE FERROVIAIRE **P.05**

II.2. LA GESTION DES RISQUES FERROVIAIRES LIÉS AU RUISSELLEMENT **P.06**

II.3. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE IRIP **P.07**

II.4. LE RETOUR D'EXPÉRIENCE POUR MIEUX ANTICIPER L'AVENIR **P.08**

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

INTRODUCTION **P.09**

III.1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE **P.09**

III.1.1. RELIEF **P.10**

III.1.2. CLIMAT **P.10**

III.1.3. SISMICITÉ **P.10**

III.2. PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ **P.10**

III.2.1 LES CARACTÉRISTIQUE DU PROJET **P.11**

III.2.1.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE **P.11**

III.2.1.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE **P.12**

CONCLUSION **P.12**

CHAPITRE IV : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

INTRODUCTION **P.13**
IV.1. TRACÉ EN PLAN **P.13**
IV.1.1. CONDITIONS ET RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN **P.13**
IV.1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES **P.14**
IV.1.3. APPLICATION SUR LE PROJET **P.15**
IV.1.4. LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ **P.17**
IV.2. PROFIL EN LONG **P.18**
IV.2.1. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG **P.18**
IV.2.1.1. LES ALIGNEMENTS DROITS **P.18**
IV.2.1.2. LES CERCLES **P.19**
IV.2.2. APPLICATION SUR LE PROJET **P.20**
CONCLUSION **P.20**

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

INTRODUCTION **P.21**
V.1. ÉTUDE HYDROLOGIQUE **P.21**
V.1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE **P.21**
V.1.2. LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES **P.22**
V.1.2.1. CLIMAT **P.22**
V.1.2.2. LA TEMPÉRATURE **P.23**
V.1.2.3. LES PRÉCIPITATIONS **P.24**
V.1.2.4. LE VENT **P.27**
VI.1.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS **P.27**
V.1.4. CALCUL DE DÉBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS **P.29**
V.1.4.1. FORMULE RATIONNELLE **P.30**
V.1.4.2. FORMULE DE MALLET-GAUTHIER **P.33**
V.1.4.3. FORMULE DE CRUPEDIX **P.33**
V.1.5. RÉSULTATS DE CALCUL DES DÉBITS POUR LE PRÉSENT PROJET **P.34**
V.2. ÉTUDE HYDRAULIQUE **P.34**

V.2.1. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX **P.34**
V.2.1.1. DIMENSIONNEMENT DES BUSES **P.35**
V.2.1.2. DIMENSIONNEMENT DES DALOTS **P.37**
V.2.1.3. CAS PARTICULIER DE NOTRE PROJET **P.39**
V.2.2. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX **P.39**
CONCLUSION **P.42**

CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

INTRODUCTION **P.43**
VI. 1. ÉTUDE GÉOLOGIQUE **P.43**
VI.1.1. APERÇU GÉOLOGIQUE RÉGIONALE **P.43**
VI.1.2. APERÇU GÉOLOGIQUE LOCAL **P.44**
VI.1.3. RISQUES GÉOLOGIQUES **P.45**
VI.2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE **P.45**
VI.2.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE **P.45**
VI.2.1.1. LOT TRACÉ **P.47**
VI.2.1.2. LOT OUVRAGES **P.49**
VI.2.1.3. RÉSULTATS ESSAIS AU LABORATOIRE **P.49**
VI.2.2. UNITÉS GÉOTECHNIQUES **P.54**
VI.2.3. CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES **P.55**
VI.2.3.1. LES ZONES INONDABLES **P.55**
VI.2.3.2. AGRESSIVITÉ DES SOLS **P.55**
VI.2.3.3. RISQUE DE DISSOLUTION DES GYPSES **P.55**
VI.2.4. EMPRUNT ET DEPOT **P.56**
VI.2.4.1. IDENTIFICATION DES GITES À MATÉRIAUX **P.56**
VI.2.4.2. IDENTIFICATION DES ZONE DE DÉPÔT **P.56**
CONCLUSION **P.57**

CHAPITRE VII. ASSISE FERROVIAIRE :

INTRODUCTION **P.58**
VII.1. LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE **P.58**
VII.1.1. LE BALLAST **P.58**
VII.1.2. SOUS COUCHE **P.59**
VII.1.3 LA GÉOTEXTILE **P.60**
VII.1.4 LA PLATE-FORME **P.60**
VII.2. CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME **P.60**
VII.3. LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME **P.61**
VII.4. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE **P.62**
CONCLUSION **P.63**

CHAPITRE VIII : PROFIL EN TRAVERS

INTRODUCTION **P.64**
VIII.1. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS **P.64**
VIII.2. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE **P.64**
CONCLUSION **P.65**

CHAPITRE IX : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

INTRODUCTION **P.66**
IX.1. LES TERRASSEMENTS **P.66**
IX.1.1. OUVRAGES EN TERRE **P.66**
IX.1.1.1. EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES DES OUVRAGES EN TERRE **P.66**
IX.1.1.2. CONDITIONS DE RÉALISATION DES REMBLAIS **P.67**
IX.1.1.3. CONDITIONS D'EXCAVATION DE DÉBLAI **P.67**
IX.1.2. LA STABILITÉ **P.67**
IX.1.3. TASSEMENT **P.68**
IX.1.4. PENTES ET TALUS **P.68**
IX.1.5. COMPACTAGE **P.68**
IX.2. LES OUVRAGES **P.69**

IX.2.1. INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE **P.69**
IX.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET **P.69**
IX.2.2.1. RÉTABLISSEMENT ROUTIER **P.69**
IX.2.2.2. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES **P.70**
IX.2.2.3. PROTECTION DES CONDUITES DE GAZ **P.71**
IX.2.2.4. PROTECTION DES CONDUITES DE AEP **P.71**
CONCLUSION **P.72**

CHAPITRE X : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

INTRODUCTION **P.73**
X.1. TYPE DE GARE **P.73**
X.2. ÉTUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE **P.73**
X.3 CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARE **P.74**
X.4 INSTALLATIONS D'UNE GARE A VOYAGEUR **P.74**
X.5. DETAILS SUR LA GARE F'KIRINA DU PROJET initial **P.74**
X.6. NOUVELLE PROPOSITION POUR LA GARE F'KIRINA **P.75**
X.6.1. JUSTIFICATION DE LA NOUVELLE PROPOSITION DE GARE **P.75**
X.6.2. CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS DE LA GARES **P.76**
X.6.2.1. QUAI **P.76**
X.6.2.2. HEURTOIR **P.77**
X.6.2.3. CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON **P.77**
X.6.2.4. MARGE DE GLISSEMENT À L'AVAL DES SIGNAUX **P.78**
X.6.2.5. PASSAGE SOUTERRAIN **P.79**
X.7. ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE **P.79**
X.8. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL **P.79**
X.9. PROFILE EN TRAVERS TYPE ET LE SCHÉMA DE LA GARE PROPOSÉ **P.79**

CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

INTRODUCTION **P.80**
XI.1. OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE **P.80**

XI.2. LES SIGNAUX **P.81**
XI.3. IMPLANTATION LONGITUDINALE **P.81**
XI.4. ASPECTS DES SIGNAUX **P.82**
XI.5. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT **P.83**
XI.6. LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS **P.84**
XI.7. APPLICATION SUR NOTRE PROJET **P.85**
CONCLUSION **P.85**

CHAPITRE XII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

INTRODUCTION **P.86**
XII.1. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE **P.86**
XII.1.1. APERÇU GÉNÉRAL **P.86**
XII.1.2. SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE **P.86**
XII.2. DESCRIPTION DE L'ÉTAT INITIAL DE LA ZONE D'ÉTUDE **P.87**
XII.2.1. MILIEU PHYSIQUE **P.87**
XII.2.2. MILIEU HUMAIN **P.88**
XII.2.3. MILIEU BIOLOGIQUE **P.89**
XII.3. LES IMPACTS POSITIFS **P.89**
XII.4. IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS NÉGATIFS PRÉVISIBLES AVEC LES MESURES D'ATTÉNUATION **P.89**
CONCLUSION **P.92**

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XV. PLANIFICATION DE PROJET

INTRODUCTION **P.95**
XV.1. PLANIFICATION **P.95**
XV.2 LE DIAGRAMME DE GANTT **P.95**
XV.3 APPLICATION SUR NOTRE PROJET **P.96**

CONCLUSION GÉNÉRALE **P.97**

LISTE DES FIGURES

Figures N°II.01 : Érosions de plateforme, de talus ou de remblais (Ingénierie SNCF Infra) P.05

Figures N°II.02 : Inondation et coulées boues (Ingénierie SNCF Infra). P.06

Figures N°II.03 : Les étapes hydrologiques pouvant conduire à l'inondation par Ruissellement Intense Pluvial (RIP). P.07

Figures N°II.04 : Cartographie par la méthode IRIP – Source Irstea. P.07

Figure N°III.01 : Zone d'implantation du projet. P.09

Figure N°III.02 : Carte zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet P.10

Figure N°IV.01 : Les éléments de tracé en plan. P.14

Figure N°V.01 : Bassins hydrographiques du haut plateau constantinois (N°07) et position de la zone d'étude (BV de Garaet El Tarf N°07-07) P.22

Figure N°V.02 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude. P.23

Figure N°V.03 : Variation des températures moyennes mensuelles P.23

Figure N°V.04 : Ajustement des pluies annuelles. P.24

Figure N°V.05 : Variation des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières. P.25

Figure N°V.06 : Ajustement des pluies journalières maximales. P.26

Figure N°V.07 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF). P.27

Figure N°V.08 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major. P.28

Figure N°V.09 : Tracé de la ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela sur la carte géologique P.31

Figure N°V.10 : Schéma d'un ouvrage busé. P.35

Figure N°V.11 : Schéma d'un ouvrage busé. P.37

Figure N°V.12 : Fossé de forme trapézoïdal. P.40

Figure N°VI.01 : Carte des structures géologiques de l'est de l'Algérie. P.43

Figure N°VI.02 : Tronçon de PK 09+000 au PK 11+000 sur la Carte géologiques. P.44

Figure N°VI.03 : Tronçon de PK 11+000 au PK 23+500 sur la Carte géologiques P.44

Figure N°VI.04 : Tronçon de PK 23+500 au PK 29+000 sur la Carte géologiques. P.44

Figure N°X.01 : Zone d'implantation de la gare F'kirina. P.75

Figure N°X.02 : Gabarits – Quais Voyageurs. P.76

Figure N°X.03 : Schéma illustratif du garage franc. P.78

Figure N°X.04 : Schéma illustratif de la longueur utile. P.78

Figure N°X.05 : Schéma de la gare proposé. P.79

Figure N°XI.01 : Schéma illustratif du canton. P.83

Figure N°XI.02 : le système de contrôle des trains ERTMS P.84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°IV.01 : Vitesse des trains maximale. P.14

Tableau N°IV.02 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF). P.14

Tableau N°IV.03 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé. P.16

Tableau N°IV.04 : Liste des obstacles à franchir P.17

Tableau N°IV.05 : Longueur minimale des déclivités. P.19

Tableau N°IV.06 : Valeurs de Rayon vertical minimale. P.19

Tableau N°IV.07 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF). P.20

Tableau N°V.01 : Les températures moyennes mensuelles P.23

Tableau N°V.02 : Pluies annuelles en mm. P.24

Tableau N°V.03 : Les précipitations mensuelles et saisonnière. P.25

Tableau N°V.04 : Pluies journalières maximales en mm. P.26

Tableau N°V.05 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour. P.26

Tableu N°V.06 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour. P.27

Tableau N°V.07 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants. P.29

Tableau N°V.08 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans. P.34

Tableau N°V.09 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°05). P.36

Tableau N°V.10 : Liste globale des ouvrages busée à projeter. P.36

Tableau N°V.11 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°013). P.38

Tableau N°V.12 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage. P.38

Tableau N°V.13 : liste globale des ouvrages projetés. P.39

Tableau N°V.14 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. P.41

Tableau N°V.15 : Dimensionnement du fossé proposé. P.42

Tableau N°VI.01 : La géologie traversée par la voie de PK 09+000 au PK 29+000. P.45

Tableau N°VI.02 : Programme d'investigation de Lot tracé. P.47

Tableau N°VI.03 : La lithologie des puits de reconnaissance. P.48

Tableau N°VI.04 : Programme d'investigation de Lot ouvrage. P.49

Tableau N°VI.05 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance. P.50

Tableau N°VI.06 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carottés. P.51

Tableau N°VI.07 : Résumé des résultats des essais d'analyse chimique sur les différents les échantillons. P.52

Tableau N°VI.08 : Interprétation des résultats du **programme d'investigation géotechnique.** **P.53**

Tableau N°VI.09 : Les différentes caractéristiques géotechniques du sol traversé par le projet selon les unités géotechniques. **P.54**

Tableau N°VII.10 : Valeur du niveau NPHE/TN. **P.55**

Tableau N°VI.11 : Localisation des zones à risque de dissolution des gypses. **P.56**

Tableau N°VI.12 : Liste des gites d'emprunt et leurs fiches techniques. **P.56**

Tableau N°VII.01 : Classification selon GTR / UIC. **P.61**

Tableau N°VII.02 : La classe la portance de la plate-forme. **P.62**

Tableau N°VII.03 : Dimensionnement de la couche d'assise. **P.63**

Tableau N°VII.04 : Structure de la voie. **P.63**

Tableau N° VIII.01 : Les cubatures des terrassements. **P.65**

Tableau N° VIII.02 : Les cubatures des couches d'assise. **P.65**

Tableau N°IX.01 : Liste des ouvrages d'art. **P.70**

Tableau N°IX.02 : Liste des ouvrages ferroviaires. **P.70**

Tableau N°IX.03 : Liste des conduites de GAZ et leur PK. **P.71**

Tableau N°IX.04 : Liste des conduite AEP et leur PK. **P.71**

Tableau N°X.01 : Les dimensions des Quais. **P.76**

Tableau N°XI.01 : Les risques ferroviaires. **P.80**

Tableau N°XI.02 : Les signaux utilisées dans le tronçon étudié. **P.82**

Tableau N°XII.01 : Description du milieu physique de la région. **P.87**

Tableau N°XII.02 : Description du milieu humain de la région. **P.88**

Tableau N°XII.03 : Description du milieu biologique de la région. **P.89**

Tableau N°XII.04 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation. **P.90**

Tableau XIII N°01 : Devis Quantitatif et Estimatif. **P.93**

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Les infrastructures de transport jouent un rôle fondamental dans le développement économique d'un pays, et la densification de ces infrastructures est un phénomène largement observé dans les pays développés. Elles améliorent la circulation des biens et des personnes, favorisent la connectivité entre les acteurs économiques et stimulent ainsi les échanges commerciaux, contribuant à la croissance économique globale.

Parmi ces infrastructures, le transport ferroviaire se distingue en offrant des services compétitifs aux voyageurs et aux chargeurs sur l'ensemble du territoire. Il représente un facteur clé de compétitivité et d'attractivité, tant au niveau national que local, et est devenu un enjeu économique, social et écologique. Avec ses nombreux avantages par rapport au transport routier, il est particulièrement adapté au transport de gros volumes sur de longues distances.

En raison de la vaste superficie de l'Algérie, le développement d'un réseau ferroviaire répondant aux besoins du pays était essentiel. Ainsi, l'Algérie a bénéficié de plusieurs programmes visant à construire de nouvelles lignes et à étendre les lignes existantes pour améliorer les capacités. Bien que des régions algériennes restent encore isolées, le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui l'un des plus grands du continent africain, avec une ambition des autorités publiques de connecter toutes les villes du pays par le réseau ferroviaire. Actuellement, ce réseau s'étend sur plus de 4 000 km.

Dans le cadre de ces programmes nationaux de développement ferroviaire, l'État prévoit la réalisation de nouvelles dessertes ferroviaires dont fais partie la ligne reliant Ain El Beida à Khenchela sur une distance de 54 km. Notre sujet a porté sur une étude en phase d'Avant-Projet Détaillé (APD) d'un tronçon de 20 km de ladite ligne, débutant avant l'arrivée à la ville de F'kirina au PK 09+000 et se terminant au PK 29+000. Il est également prévu l'étude de conception d'une gare à F'kirina.

Il est à noter que le maître d'ouvrage délégué pour la supervision de la réalisation de cette nouvelle ligne ferroviaire est Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF).

Le présent travail est constitué de 14 chapitres portant :

Chapitre I et II, comporte tous les fondements et les aspects mobilisés dans cette étude, en plus d'une recherche bibliographique sur notre projet de fin d'études.

Chapitre III, décrit la ligne ferroviaire qui fait objet d'étude.

Chapitre IV et V et VI, traitent les 3 aspects les plus essentiels dans un projet ferroviaire, à savoir l'étude géométrique, hydrologique et hydraulique et enfin géologique et géotechnique.

Chapitre VII et VIII, après avoir évaluer le couloir du tracée sous tous les volets, nous entament le dimensionnement de l'Assise ferroviaire et l'élaboration du profil en travers.

Chapitre IX, détaille la partie des terrassements et ouvrages.

Chapitre X, consacre pour la conception et l'aménagement de la gare de F'kirina.

Chapitre XI, traite les systèmes de signalisation.

Chapitre XII, pour que le projet soit respectueux de l'environnement, une étude d'impact sur l'environnement a été réalisée.

Chapitre XIII et XIV, se penchent sur le devis estimatif et quantitatif et la planification des phase et taches de construction.

Nous concluons notre travail en mettant en relief l'apport de connaissance et de compétence et l'expérience vécu dont en a eu la chance de bénéficier durant le projet et qui seront fructifie à l'aube de notre parcours professionnel.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE I : Généralité

I.1. LE CHEMIN DE FER :

Le chemin de fer c'est l'ensemble complexe des services et structures qui peuvent acheminer les marchandises et les voyageurs à travers le territoire d'un pays. Si on considère la base matérielle du chemin en fer on distingue deux (2) partie principale :

- Les installations fixes.
- Le matériel roulant.

Les installations fixes d'une ligne de chemin de fer englobent tout ce qui est nécessaire au bon fonctionnement du réseau de chemin de fer :

- Les voies ferrées (infrastructure est super structure)
- Les ouvrages d'art.
- Les dispositifs de signalisation.
- Les moyens de ravitaillement en énergie.
- Les ateliers et les dépôts.
- Les bâtiments administratifs.
- Les quais.

Le matériel roulant englobe :

- Les moyens de traction (différents types de locomotives)
- Les wagons.
- Les voitures.
- Les automotrices.

I.2. Constitution d'une voie ferrée :

La voie ferrée est constituée par 2 parties distinctes :

L'infrastructure de la voie ferrée comporte en plus de l'ouvrage enterre les ouvrages d'art les galeries souterraines et les tranchées.

La superstructure est constituée par la plateforme la sous ballast le ballast les traverses et les rails sans oublier les accessoires d'attaches et de fixation.

La voie ferrée est soumise des sollicitations statique et dynamique très importante et se trouve assez souvent dans des conditions climatiques géologiques difficiles, elle est souvent exposée à l'action d'un ensemble de facteurs plus destructifs les uns que les autres.

Il résulte que les efforts continus doivent être déployés pour maintenir un état de fonctionnement des lignes de chemin de fer qui répond aux exigences techniques, ceci est l'essor de la maintenance.

I.3. LES APPAREILS DE VOIE :

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train d'une voie principale à une voie de service ou de franchissement d'une voie de croisement.

I.4. LE COMPORTEMENT D'UN VÉHICULE EN COURBE :

D’après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à la renverser à l'extérieur du virage.

Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants. Pour annuler ou modérer cette force on surélève le rail ou la file extérieure de la voie cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

I.5. LE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES COUCHES D'ASSISES :

Pour assurer un bon fonctionnement hydraulique des couches d'assises :

- Le ballast doit reposer sur une seule couche correctement pentée transversalement vers des dispositifs de collecte.
- La sous-couche est suffisamment dense pour diminuer l'infiltration de l'eau dans la plateforme.
- La sous-couche doit être propre pour assurer l’essor transversal de l'Auvergne les dispositifs de collecte.

CHAPITRE II :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Étant donné que le tronçon de la nouvelle desserte ferroviaire reliant Ain El Beida – Khenchela, objet de notre étude, traverse une zone inondable, nous avons consacré cette partie de la recherche bibliographique aux risques lies aux écoulements sur l'infrastructure ferroviaire.

Une des méthodes développer, pour faire face à ces risques et anticiper les incidents, est celle liée aux ruissellements des eaux dénommée IRIP (**I**nondation par **R**uissellement **I**ntense **P**luvial).

INTRODUCTION :

L'implantation du réseau ferroviaire est fortement influencée par la configuration géométrique de son profil en long et de son profil en travers, en raison des limitations de traction et de freinage des trains. Afin de surmonter les variations de relief existantes, diverses structures telles que les déblais, les remblais, les tunnels ou les viaducs sont utilisées.

Ces aménagements traversent des cours d'eau provenant de vastes bassins versants ainsi que des axes de ruissellement provenant de nombreux petits bassins versants. Par conséquent, les voies ferrées peuvent constituer des obstacles ou des itinéraires privilégiés pour les écoulements de surface.

Le ruissellement provenant des petits bassins versants peut engendrer de nombreux dysfonctionnements de l'infrastructure ferroviaire. Ces problèmes peuvent entraîner des désordres, voire des incidents, le long de l'infrastructure linéaire et ses aménagements. La survenue de ces incidents dépend à la fois des conditions climatiques et de la vulnérabilité du site aux écoulements de surface.

Les retours d'expérience tirés des inondations survenues depuis la construction des premières lignes ferroviaires ont permis d'établir des normes de conception pour les ouvrages hydrauliques, allant des petites structures aux grands viaducs.

Une meilleure compréhension de ce phénomène et l'anticipation de ses impacts potentiels sur le réseau contribuent à une gestion durable et viable de la sécurité et de la régularité des circulations ferroviaires.

II.1. LE RUISSELLEMENT DANS LE CONTEXTE FERROVIAIRE :

Chaque année, un nombre considérable d'incidents sur le réseau ferroviaire sont causés par des phénomènes liés à l'eau, en particulier les écoulements de surface. La principale vulnérabilité de l'infrastructure ferroviaire réside dans la composition granulaire et non revêtue de son assise, ce qui la rend susceptible à l'érosion.

L'érosion de l'assise de la voie (voir **Figures N°II.01**), la submersion par les eaux, les coulées de boues avec ou sans dépôt de matériaux sur la voie et ses équipements (voir **Figures N°II.02**) sont les principaux impacts du ruissellement sur l'infrastructure ferroviaire.



Figures N°II.01 : Érosions de plateforme, de talus ou de remblais (Ingénierie SNCF Infra).



Figures N°II.02 : Inondation et coulées boues (Ingénierie SNCF Infra).

Lorsque la plateforme ferroviaire est inondée, cela peut entraîner la pollution du ballast par des dépôts de boue, provoquant des déformations de nivellement de la voie. Dans les cas les plus graves, notamment lors de forts débits, les écoulements peuvent même emporter le ballast, ce qui déstabilise la voie et entraîne l'érosion de la voie, des talus et des remblais.

Ces problèmes majeurs sont souvent observés lors d'événements pluvieux exceptionnels, mais également lors d'événements pluvieux plus courants, parfois même inférieurs à la fréquence décennale. Ces désordres sont d'autant plus importants lorsque les vitesses d'écoulement sont élevées. Dans de nombreux cas, ces incidents sont causés par le ruissellement rapide provenant des nombreux petits bassins versants interceptés par le réseau ferroviaire. Ils résultent généralement de l'absence ou du mauvais fonctionnement des dispositifs hydrauliques, dont le contexte initial a peut-être été mal évalué ou qui a évolué au fil du temps en raison de changements dans l'utilisation des terres des bassins versants ou des aménagements des cours d'eau.

Ces désordres génèrent des perturbations de la circulation ferroviaire qui sont classées par ordre de gravité de leur impact sur la sécurité et l'exploitation de la ligne :

• Les incidents très graves (les déraillements et les heurts).
• L'arrêt complet des circulations sur la ligne.
• L'arrêt des circulations sur la voie impactée par l'incident.
• La mise en place de Limitation Temporaire de Vitesse (LTV).

II.2. LA GESTION DES RISQUES FERROVIAIRES LIÉS AU RUISSELLEMENT :

Vers une anticipation des incidents

La gestion des risques ferroviaires liés au ruissellement repose sur la capitalisation des connaissances et l'exploitation des retours d'expérience à travers des référentiels. Ces derniers contribuent à garantir la sécurité des circulations et à maîtriser les risques ferroviaires dans une perspective de sûreté de fonctionnement.

Cependant, la surveillance et l'alerte font encore face à des défis, à savoir le manque de fiabilité dans la détection des potentielles dégradations et les difficultés rencontrées lors des interventions d'urgence. Une amélioration de l'identification des sites sensibles au ruissellement rapide, ainsi que l'évaluation de l'importance de ces écoulements, combinée à une prise en compte adéquate des dispositifs hydrauliques existants, contribuerait à optimiser la surveillance en ciblant de manière plus précise les interventions nécessaires.

La gestion des risques liés à l'eau débute dès la phase de dimensionnement et de conception, mais elle nécessite également une politique d'entretien ciblée des installations hydrauliques et de drainage. De plus, il est essentiel d'intégrer la mise en place d'une surveillance adaptée, permettant d'alerter et d'intervenir pour arrêter, si nécessaire, les circulations ferroviaires.

Dans ce contexte, plusieurs programmes ont été développés afin de réfléchir aux meilleures approches pour intégrer ces risques en amont des projets, lors de la phase de conception, ainsi que pour gérer ces risques sur le patrimoine existant, que ce soit pour les lignes à grande vitesse ou les lignes classiques. Ces programmes ont pour objectif le développement de méthodes d'analyse des risques ferroviaires liés à l'eau, afin de mieux anticiper les incidents.

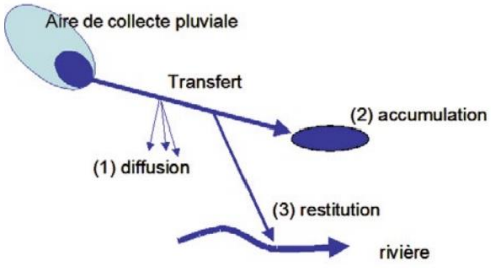
Le projet IRIP (Inondation par Ruissellement Intense Pluvial) Rail a été initié au sein de SNCF Infrastructure dans le but d'améliorer la prise en compte du ruissellement dans les démarches existantes d'analyse des risques.

II.3. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE IRIP :

La méthode IRIP repose sur une analyse de la dynamique des écoulements en utilisant différentes couches d'informations géographiques telles que la topographie, la géologie, la pédologie, l'occupation du sol et les structures linéaires artificielles. Grâce à un traitement géomatique de ces données de base, il est possible de calculer des indicateurs liés aux trois étapes hydrologiques suivantes : (P)roduction, (T)ransfert et (A)ccumulation du ruissellement. Diverses séquences peuvent se produire entre la production du ruissellement et son transfert vers l'aval, notamment la diffusion ou la restitution au milieu avant d'atteindre les zones d'accumulation.

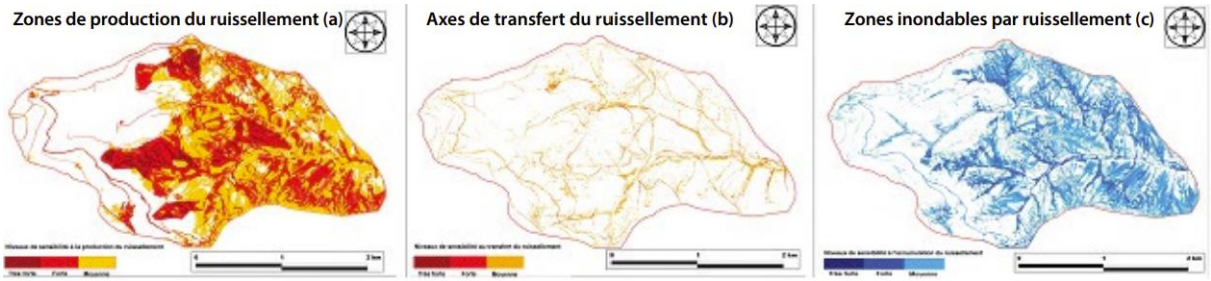
La méthode IRIP combine ces indicateurs pour évaluer les zones sensibles au ruissellement intense pluvial et identifier les sections du réseau ferroviaire à risque. En intégrant les caractéristiques du réseau ferroviaire et les données hydrologiques, la méthode permet d'anticiper les zones où les écoulements de surface peuvent potentiellement affecter l'infrastructure ferroviaire.

La succession des étapes qui peuvent conduire à une inondation par ruissellement intense pluvial est illustrée ci-des- sous (Figure 3).



Figures N°II.03 :
Les étapes hydrologiques pouvant conduire à l'inondation par Ruissellement Intense Pluvial (RIP).

Le résultat de la méthode IRIP est une cartographie de la sensibilité d'un territoire au ruissellement, qui est indépendante des événements météorologiques. Cette cartographie permet de représenter spatialement l'aléa lié au ruissellement.



Figures N°II.04 : Cartographie par la méthode IRIP – Source Irstea.

La carte de la **Figure 4a** représente les niveaux de sensibilité des différentes parties du bassin à produire du ruissellement. Il faut cependant noter les zones à fort potentiel de production seront problématiques si leurs axes de transfert recoupent ou aboutissent dans les axes ferroviaires qui sont situés juste en aval. La carte de la **Figure 4b** identifie les axes de transfert, sous condition d'existence d'une connexion à une aire de production. La carte de la **Figure 4c** illustre les zones d'accumulation.

La méthode IRIP, grâce à sa logique de cartographie du ruissellement, offre des possibilités concrètes pour la gestion préventive des espaces afin de limiter les risques liés au ruissellement. Cela peut impliquer l'orientation des politiques suivantes :

- Ne pas aggraver le ruissellement dans les zones de production en favorisant l'utilisation de techniques d'infiltration et de rétention. Cela peut être réalisé en aidant à choisir judicieusement les sites d'aménagement.
- Dévier ou réorienter les axes de transfert afin d'éviter d'obstruer les chemins d'écoulement des eaux avec des aménagements linéaires tels que les routes, les chemins de fer, etc. Il peut être opportun de diriger délibérément le ruissellement vers des zones où il peut s'étaler.
- Réduire la vulnérabilité dans les zones d'accumulation des eaux en mettant en place des politiques d'utilisation des sols et/ou en envisageant la relocalisation des enjeux (infrastructures, habitations, etc.).

En adoptant ces approches, il est possible de prendre des mesures préventives efficaces pour gérer les risques liés au ruissellement et favoriser une meilleure gestion des espaces concernés.

La méthode IRIP constitue ainsi un outil précieux pour la planification, la conception et la gestion durables des infrastructures ferroviaires en tenant compte des phénomènes hydrologiques associés.

II.4. LE RETOUR D'EXPÉRIENCE POUR MIEUX ANTICIPER L'AVENIR :

Les connaissances acquises grâce au retour d'expérience ont des retombées multiples en matière d'exploitation ferroviaire. Elles devraient permettre d'améliorer les aspects suivants :

- La gestion des risques liés aux circulations ferroviaires en exploitation, en mettant en place des mesures de surveillance et d'alerte plus efficaces.
- La gestion de crise lors d'épisodes majeurs, en déterminant les itinéraires alternatifs et les modes de transport de remplacement possibles.
- La gestion post-crise, en facilitant la reconstruction de l'infrastructure, la remise en service des circulations et en proposant des solutions alternatives pour les voyageurs et les marchandises. La gestion des dépenses liées à ces événements, en ayant une meilleure connaissance des coûts financiers engendrés par les inondations (investissement, maintenance, régénération).
- Le partage des impacts socio-économiques avec les acteurs territoriaux impliqués dans ces événements.
- Les bassins versants sont fixés dans le Ministère des eaux.
- Création des agences des bassins versants.

Grâce à une analyse approfondie du retour d'expérience, il est possible d'anticiper et de mieux gérer les conséquences des incidents liés au ruissellement, ce qui contribue à une exploitation ferroviaire plus sûre et efficace.

CHAPITRE III :

PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU PROJET

INTRODUCTION :

Dans le secteur des transports, le projet du chemin de fer Ain El Beida-Khenchela est considéré comme l'un des projets majeurs qui favoriseront la reprise de la mobilité économique dans les zones des hauts plateaux.

III.1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

Le projet s'étend sur 54 Km, réparti sur six (6) communes et deux (2) wilayas :

- la wilaya d'Oum El Bouaghi (Communes de : Ain Beida, F'kirina et Oued Nini)
- la wilaya de Khenchela (Communes de : M'Toussa, Baghaï et El Hamma).

Ces wilayas à vocation agricole, se localisent à l'Est du pays et appartiennent au domaine des Hauts Plateaux Est.

Leurs superficies totales sont respectivement de 6187 km^2 et 9715 km^2. La wilaya d'Oum El Bouaghi est composée de 12 Daïras et 29 communes et la wilaya de Khenchela de 08 Daïras et 21 communes.

La région d'étude, traversée par la ligne ferroviaire Ain Beida – Khenchela, se situe à l'extrême Est algérien, sur le territoire de la wilaya de Oum El Bouaghi et la wilaya de Khenchela. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Souk Ahras, Guelma, Constantine et Mila, à l'Ouest par les wilayas de Batna et Biskra, à l'Est par la wilaya de Tébessa et au Sud par la wilaya d'El Oued (**Figure N°III.01**).

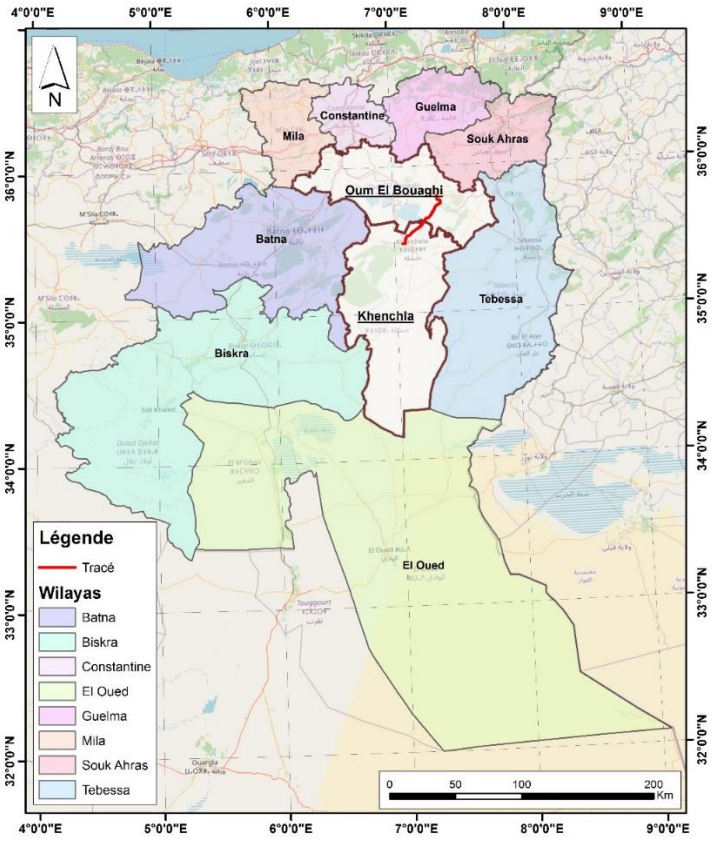


Figure N°III.01 : Zone d'implantation du projet.

III.1.1. RELIEF :

La zone d'étude se situe entre les Monts des Aurès (Khenchela) et les hauts plateaux (plaines de F'kirina et Oum El Bouaghi), avec une altitude moyenne d'environ 830 m. Le relief de site étudie est globalement plat.

III.1.2. CLIMAT :

La zone d'étude, se caractérise par deux types de climat :

- Le Nord, qui est une vaste plaine ou l'altitude décent jusqu'à moins de 850 m est caractérisé par un climat semi-aride.
- Le Sud, trop influencé par les courants d'airs froids et humides en provenance des Aurès ou l'altitude dépasse les 1200 m, jouit d'un climat tempéré.

III.1.3. SISMICITÉ :

D'après le RPOA2008 / version 2008 du ministère des travaux publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, la wilaya de Khenchela et la wilaya de Oum El Bouaghi sont classées zone « I » ; c'est-à-dire zone à sismicité faible.

Le document technique réglementaire cité ci-avant divise le territoire algérien en cinq (5) zones de sismicité croissante, soit :

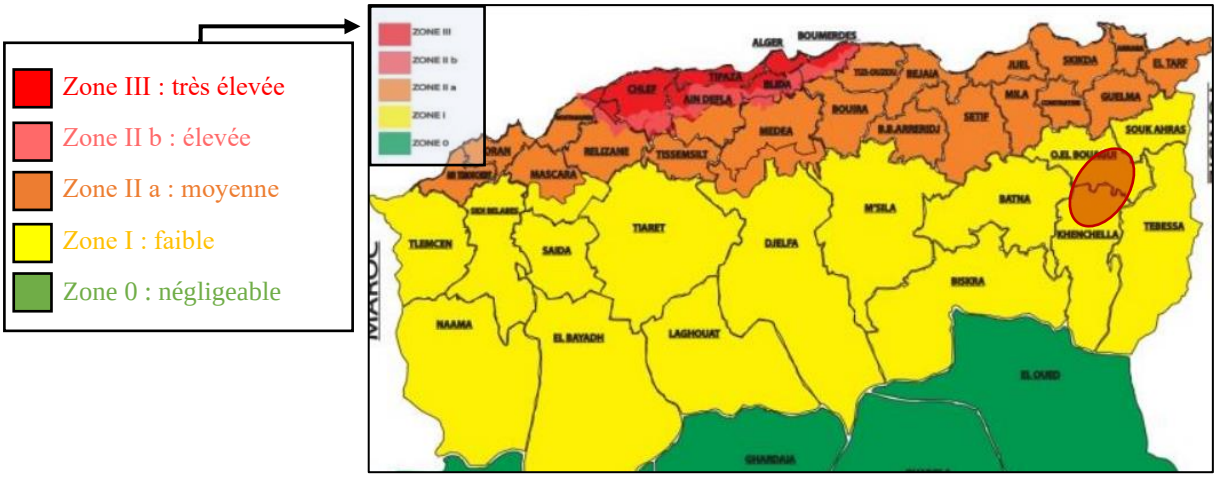


Figure N°III.02 : Carte zonage sismique de l'Algérie avec l'implantation du projet.

III.2. PRÉSENTATION DU PROJET ÉTUDIÉ :

Le présent projet a pour objet l'étude d'APD (Avant-projet détaillé) de la ligne de chemin de fer Ain Beida – Khenchela exactement entre les points kilométriques (PK 09+000 et PK 29+000) dans le cadre de la réalisation de la desserte ferroviaire des hauts plateaux.

Il débute au PK 09+000, après avoir quitté la plateforme de la ligne Ain M'lila - Tébessa, où le tracé contourne à l'Ouest, pour continuer ensuite vers la ville de F'kirina aux environs du PK (19+440), où elle est franchie par l'Est, une gare intermédiaire est implantée au niveau de cette localité. Cette dernière est facilement accessible depuis le CC au PK 19+080. Le tracé se poursuit, en direction de la ville de M'Toussa, à l'est de la RN 80. Il franchit cette dernière au PK (23+075).

III.2.1 LES CARACTÉRISTIQUE DU PROJET :

- **Conditions de Base :**

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

- **Caractéristiques de Base :**

  - Longueur 20 Km.
  - Caractéristiques géométriques selon les recommandations de la SNTF et les standards UIC.
  - Pont-rail et pont-route prévus pour double voie.
  - Trafic mixte voyageurs et marchandises.
  - Traction actuellement diesel, avec possibilité de future électrification.

III.2.1.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE :

• **Écartement :**

La voie normale sera construite à écartement normal e = 1435 mm en alignement.

• **Gabarit :**

Le gabarit à dégager est celui des lignes à une vitesse normale, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC (Y compris future caténaire en 25 KV).

• **Charges à l'essieu :**

- Pleine voie 22.5 t.

- Ouvrages d'art 25 t.

• **Vitesses :**

- Vitesse maximale 160 km/h.

- Trafic marchandises : 100 km/h.

• **Plate-forme de voie :**

- La voie unique étant réalisée à son emplacement définitif avec une largeur de plate-forme en voie simple est fixée à 8m soit en déblais ou remblais.

- L'axe de la deuxième voie sera placé ultérieurement à 4,20 m de l'axe de la voie unique.

- En revanche, l'entre axe des voies en gare est de 4.50 m.

III.2.1.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA SUPERSTRUCTURE :

• **Rails :**

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1 (60,21 kg/m).

• **Traverse :**

- Traverses bi-bloc en pleine voie.

- Traverses en bois pour les appareils de voie.

• **Attache :**

Attaches élastiques de type NABLA.

• **Semelle :**

Semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9 mm, collé sur la table d'appui des traverses.

• **Appareils de voie :**

Choisis dans la gamme ci-après :

- UIC 60 190 1/9 avec une vitesse de 40 km/h.

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

CONCLUSION :

Les pouvoirs publics ont mis en œuvre un ambitieux programme d'investissement à l'effet de relancer le secteur des transports. Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire objet du présent mémoire fait partie dudit programme, reliant AIN EL BEIDA – KHENCHELA allons du PK 09+000 au PK 29+000 avec une vitesse de 160 Km/h avec une largeur de plate-forme en voie simple est de 8m soit en déblais ou remblais. Tout en considérant que la ligne peut être électrifiée en future.

CHAPITRE IV :
ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

CHAPITRE IV. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE :

INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé de la voie ferrée représente une démarche scientifique et technique visant à atteindre un roulement optimal des trains. Elle cherche à déterminer la configuration géométrique idéale de la voie et du tracé. Cela implique une analyse rigoureuse des paramètres clés tels que les courbes, les pentes et les dénivelés afin de concevoir un tracé qui minimise les forces centrifuges et maintient une vitesse constante.

Parallèlement, des considérations essentielles telles que l'espacement entre les voies, la largeur des plateformes et la position stratégique des aiguillages sont intégrées pour permettre une circulation fluide des trains, facilitant les croisements et assurant la sécurité des opérations ferroviaires ainsi que des voyageurs et du personnel ferroviaire.

Cette étude repose sur une approche méthodologique basée sur des normes et recommandations spécifiques, notamment celles établies par la norme SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires). Son objectif est de trouver le tracé le plus économique tout en répondant aux exigences des normes internationales applicables au domaine ferroviaire.

IV.1. TRACÉ EN PLAN :

Le tracé en plan d'une voie ferrée comprend des segments linéaires ainsi que d'autre en courbe circulaire qui nécessitent généralement l'insertion de courbes de raccordement afin d'assurer une transition en douceur entre les tronçons. Ces derniers présentent une courbure progressive qui permet d'atténuer les impacts et les secousses. Il représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Sans omettre que le tracé en plan d'une voie ferrée est principalement défini par deux vitesses, vitesse des trains voyageurs (V_v, vitesse rapide) et vitesse des trains marchandises (V_m, vitesse lent)

IV.1.1. CONDITIONS ET RÈGLES À RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN :

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

- En cas d'une étude d'amélioration d'une ligne existante, assurer le raccordement au réseau existant au début et à la fin de projet et ne pas sortir du couloir choisi.
- Respecter le rayon et les longueurs minimum recommandées par La SNTF.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.
- Utiliser le maximum d'alignement.
- Éviter le franchissement des Oueds et des routes dans la mesure du possible pour éviter les travaux d'ouvrages d'art et rendre le projet plus économique, dans le cas contraire, le franchissement est obligatoire. Il est préférable qu'il se fasse perpendiculairement à la ligne des écoulements des Oueds ou bien dans des endroits les plus étroits.
- Éviter les zones qui présentent des problèmes géologiques.
- Minimiser les problèmes des talus :
    - Talus en déblai (la présence de nappe, de roche fissurée ou des terrains plastiques)
    - Talus en remblais (évitez les terrains instables et les sols compressibles)

IV.1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES :

Comme déjà mentionnée précédemment le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements. (**Figure N°V.01**)

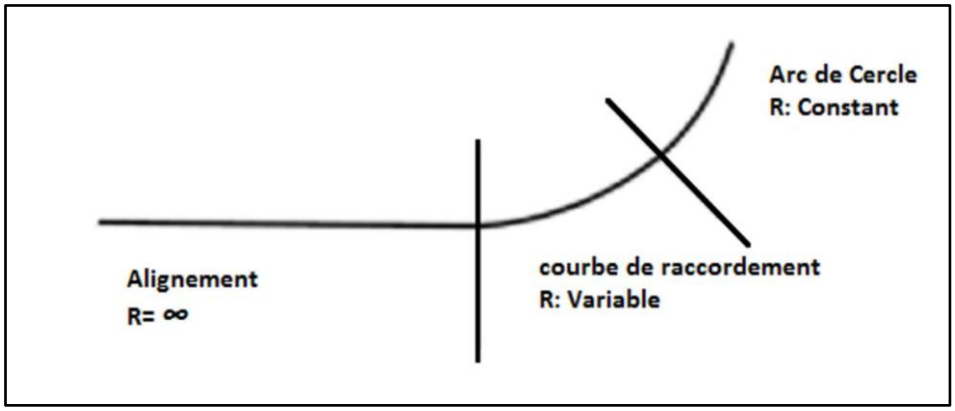


Figure N°IV.01 : Les éléments de tracé en plan.

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

Tableau N°IV.01 : Vitesse des trains maximale.

Vitesse voyageurs V_V	160 Km
Vitesse marchandises V_m	100 Km

Tableau N°IV.02 : Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF).

		D_{max} (mm)	L_{min} (m)	I_{max} (mm)	E_{max} (mm)	R_{min} (m)	$\left(dd/dl\right)_{max}$ (mm/m)	$\left(dI/dt\right)_{max}$ (mm/s)
Formule	**Normal**	-	$\frac{V_{max}}{2}$	-	-	$\frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{180}{V_{max}}$	-
	Exceptionnel	-	$\frac{V_{max}}{3}$	-	-	$\frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{D_{max} + I_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	-
Application	**Normal**	**160**	**80**	**150**	**110**	**974**	**1.125**	**75**
	Exceptionnel	**180**	**54**	**160**	**130**	**888**	**1.350**	**90**

Avec :

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

IV.1.3. APPLICATION SUR LE PROJET :

Notre projet qui relie Ain El Beida – Khenchela débute au PK 09+000 jusqu'au PK 29+000 avec une longueur 20 Km.

Le tracé commence en alignement droit et se termine par une courbe de rayon de 13000 m, il se développe dans une extension de 20000 mètres et comprend 6 courbes horizontales dont leur rayon se situe entre 1100 m et 13000 m.

Selon la SNTF et pour une vitesse de 160 km/h le rayon minimum est de 974 m, donc tous les rayons de notre tracé doivent être supérieure au $R_{min} = 974\ m$

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 5000 m, juste pour illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination du devers et tous les paramètres correspondant à ce dernier.

$$\boldsymbol{R = 5000\ m}$$

- **Dévers théorique :** $d_{th} = \frac{11.8 \times {V_{max}}^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{5000} = 60{,}42\ mm$
- **Le coefficient de dévers :** $C = 0.006 \times {V_{max}}^2 = 153{,}60$

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

  Alors dans ce cas en prend C=165.

  $0.5 < \frac{C}{0.118 \times \boldsymbol{V_{max}}^2} < 0.7 \ \dots\dots\dots\dots (*)$ ➔ $0.5 < \frac{165}{0.118 \times \mathbf{160^2}} = 0.55 < 0.7$ OK ✓
- **Dévers pratique :** $d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 165}{5000} = 33\ mm$

  On prend **:** $d_p = 33\ mm$
- **Insuffisance de dévers :** $I = d_{th} - d_p = 60.42 - 33 = 27.42\ mm$
- **Excès de devers :** $E = d_p - \frac{11.8 \times {V_{min}}^2}{R} = 33 - \frac{11.8 \times (100)^2}{5000} = 9.4\ mm$
- **La longueur de clothoïde :** $L_{rp} = \frac{d_p}{{dd}/{dl}} = \frac{d_p}{{180}/{V_{max}}} = \frac{33}{1.125} = 29.33\ m$

  On prend **:** $L_{rp} = 33\ mm$
- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :** ${dd}/{dl} = \frac{33}{33} = 1\ mm/m$
- **La variation d'insuffisance de dévers :** $\frac{dI}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{27.42}{33} \times \frac{160}{3.6} = 36.93\ mm/s$

Le listing ci-dessous présente les paramètres et les dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve sur le tracé du tronçon d'étude, et cela pour les vitesses Vmax=160km/h, Vmin=100km/h.

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

Le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve pour le tracé en plan du tronçon d'étude sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau N°IV.03 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé.

		Formule	1	2	3	4	5	6
Rayon (m)		-	**3500**	**5000**	**10000**	**1100**	**1200**	**13000**
Vitesse Km/h	**Min**	-	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**
	Max	-	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
dth (mm)		$\frac{11.8 \times V_{max}{}^2}{R}$	**86,31**	**60,42**	**30,21**	**274,62**	**251,73**	**23,24**
C		$0.006 \times V_{max}{}^2$	**153,6**					
C adopté		-	**165**					
Vérification C		$0.5 < \frac{C}{0.118 \times \boldsymbol{V_{max}}^2} < 0.7$	**0,55**					
			OK ✓					
dp (mm)		$\frac{1000 \times C}{R}$	**47,14**	**33,00**	**16,50**	**150,00**	**137,50**	**12,69**
dp adopté		-	**50**	**33**	**20**	**150**	**140**	**15**
I (mm)		$\boldsymbol{d_{th} - d_p}$	**36,31**	**27.42**	**10,21**	**124,62**	**111,73**	**8,24**
E (mm)		$d_p - \frac{11.8 \times V_{min}{}^2}{R}$	**16,29**	**9.4**	**18,20**	**42,73**	**41,67**	**5,92**
Lrp (m)		$\frac{d_p}{dd/dl}$	**44,44**	**29.33**	**17,78**	**133,33**	**124,44**	**13,33**
Lrp adopté		-	**50**	**33**	**30**	**150**	**140**	**30**
dd/dl (mm/m)		$\frac{d_p}{L_{rp}}$	**1**	**1**	**0,67**	**1**	**1**	**0,5**
dI/dt (mm/s)		$\frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$	**32,28**	**36,93**	**15,13**	**36,92**	**35,47**	**12,21**

NB : le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel COVADIS 16.0e et les éléments du tracé en plan sont annexés au présent document

IV.1.4. LES CONTRAINTES LE LONG DU TRACÉ :

Tableau N°IV.04 : Liste des obstacles à franchir.

Obstacle à franchir		PK	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Oued Mekhalfa		10+575	Ouvrage ferroviaire
Oued Nini		20+360	
Oued El Memri		24+575	
Écoulement 12		27+550	
Rétablissement des pistes		11+014	Passage supérieure
		13+251	
		15+954	
Intersection avec des routes	**CC**	19+080	
	RN80	23+075	
	CC	26+722	
28 Pistes		9+241 - 28+875	À aménager au à supprimer
Conduite AEP (Adduction en Eau Potable)		12+120	Prendre les mesures de sécurité recommandées. Possibiliser de : Déplacer Protéger
		22+808	
		24+010	
		26+553	
Conduite de Gaz		17+160	
		19+058	
		23+092	
Ligne électrifie moyenne tension		14+334	
		15+210	
		15+966	
		16+497	
		19+175	
		21+996	
		22+667	
		23+261	
		23+435	
		26+120	
		27+583	
		28+120	
Ligne électrifie haute tension		25+238	

IV.2. PROFIL EN LONG :

Le profil en long joue un rôle primordial dans les projets ferroviaires, tant sur le plan technique que financier et environnemental. Il permet de déterminer le tracé optimal de la voie ferrée en prenant en compte les caractéristiques topographiques du terrain, ce qui réduit les contraintes de construction et les coûts associés. De plus, il influe directement sur les performances du système ferroviaire en favorisant des vitesses constantes et un confort accru pour les passagers. Enfin, le profil en long est essentiel pour estimer avec précision les coûts du projet, établir un budget approprié et gérer efficacement les ressources nécessaires.

En résumé, une conception minutieuse du profil en long est essentielle pour la réussite des projets ferroviaires, en assurant un tracé optimal, des performances efficaces, une gestion financière rigoureuse et une protection environnementale adéquate.

IV.2.1. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

IV.2.1.1. LES ALIGNEMENTS DROITS :

Le profil en long de la voie ferrée se distingue par des déclivités remarquablement réduites, visant à maintenir des vitesses de circulation appropriées, garantissant la sécurité optimale lors des freinages en pente, et assurant un démarrage confortable des véhicules sur les rampes. Par conséquent, il a été établi par la Société nationale des chemins de fer tunisiens (SNTF) une limite supérieure à ne pas dépasser en termes de déclivité des tronçons droits, afin de respecter les normes de sécurité et d'assurer une expérience de voyage agréable pour les passagers.

En ce qui concerne l'implantation de la gare, il convient de noter qu'un palier d'une longueur supérieure à 1200 mètres est généralement utilisé, et les déclivités maximales suivantes sont généralement adoptées :

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

Le choix de la position des droites par rapport au terrain naturel se fais en respectant plusieurs facteurs tel que :

- Équilibrer les remblais-déblais.
- Minimiser le mouvement des terres.
- Éviter d’introduire une pointe basse dans le profil en long lorsqu'il s'agit d'une section de déblais. Une telle configuration pourrait entraîner des contraintes supplémentaires, notamment en ce qui concerne les difficultés liées au terrassement et à l'évacuation des eaux pluviales.

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

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

- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5 m.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en Déclivité.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profile en long, Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

Tableau N°IV.05 : Longueur minimale des déclivités.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale des déclivités	$\frac{V}{2}$	$\frac{V}{2.5}$

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

IV.2.1.2. LES CERCLES :

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

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $\boldsymbol{A_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times R_v}}$

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

Tableau N°IV.06 : Valeurs de Rayon vertical minimale.

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

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

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

IV.2.2. APPLICATION SUR LE PROJET :

Tableau N°IV.07 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF).

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

CONCLUSION :

L'étude géométrique, comme discipline, combine des principes mathématiques et d'ingénierie pour garantir une performance optimale des voies, la sécurité des passagers et des marchandises, ainsi qu'une efficacité maximale du réseau ferroviaire.

Au cours de ce chapitre, nous avons pu examiner les différents aspects de l'étude géométrique de la voie ferroviaire, la détermination des alignements horizontaux et verticaux, le calcul des courbes, des contre-courbes et des transitions, ainsi que la prise en compte des facteurs tels que les pentes, les dévers, et les tolérances géométriques.

Nous avons pu également discuter des méthodes et des outils utilisés pour réaliser de ces études, comme les systèmes de positionnement global (GPS) {google earth, Global mapper}, les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) {Covadis 16.0e, Civil 3D} et les simulations numériques. Grâce à ces avancées technologiques, les ingénieurs peuvent analyser et optimiser les tracés de voies avec une précision accrue, ce qui conduit à des performances améliorées et à une réduction des coûts de maintenance.

Il est important de souligner, aussi, que l'étude géométrique de la voie ferroviaire ne se limite pas seulement à la phase de conception initiale, mais elle doit également être considérée tout au long du cycle de vie de la voie, pour enfin garantir un transport ferroviaire fiable, sûr et efficace pour les générations présentes et futures.

CHAPITRE V :

ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE :

INTRODUCTION :

Lorsque des questions émergent dans les projets d'infrastructures ferroviaires relatives à l'état des écoulements d'un cours d'eau ou les perturbations potentielles causées par le tracée avec son lit principal, **une étude hydrologique et hydraulique** est entreprise afin d'obtenir la réponse appropriée. Cette démarche permet d'assurer et de garantir la continuité des débits des cours d'eau en dimensionnant de manière adéquate les ouvrages hydrauliques nécessaires. De plus, il est essentiel de souligner que la protection de la plate-forme de la voie nécessite un drainage efficace.

L'Algérie, tout comme le reste du monde, est confrontée à des crues périodiques importantes qui peuvent causer des dommages matériels et humains considérables. Ce risque est d'autant plus préoccupant aujourd'hui en raison de l'essor démographique, urbain, agricole, industriel et touristique et les problèmes posés par le changement climatique que connais la planète.

De manière succincte, ce **risque** résulte de l'association entre un cours d'eau pouvant déborder lors de fortes précipitations (**aléa**) et la présence de biens vulnérables (**enjeu**) tels que des individus, des constructions, des infrastructures et des terres agricoles exposés à ces aléas.

L'approche méthodologique préconisée pour la mission hydrologique et hydraulique du projet de la nouvelle ligne de chemin de fer reliant Ain El Beida - Khenchela, entre le PK 9+000 et le PK 29+000, vise à atteindre plusieurs objectifs. D'une part, elle consiste à déterminer les débits de crues des différents Oueds et affluents traversés par la ligne ferroviaire projetée, en tenant compte de périodes de retour de 10, 50 et 100 ans. D'autre part, elle permet de déterminer les ouvrages hydrauliques appropriés capables de gérer ces débits d'apports, en prenant en considération la capacité de saturation de ces derniers.

V.1. ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

L'hydrologie est une discipline scientifique qui se consacre à l'étude complète de l'évolution des eaux sur la surface de la terre et dans le sous-sol. Elle examine les propriétés physiques, mécaniques et techniques de ces eaux, ainsi que leur origine, leur mouvement et leur répartition sur notre planète. Elle explore, aussi, les interactions des eaux avec l'environnement et leur impact sur les activités humaines.

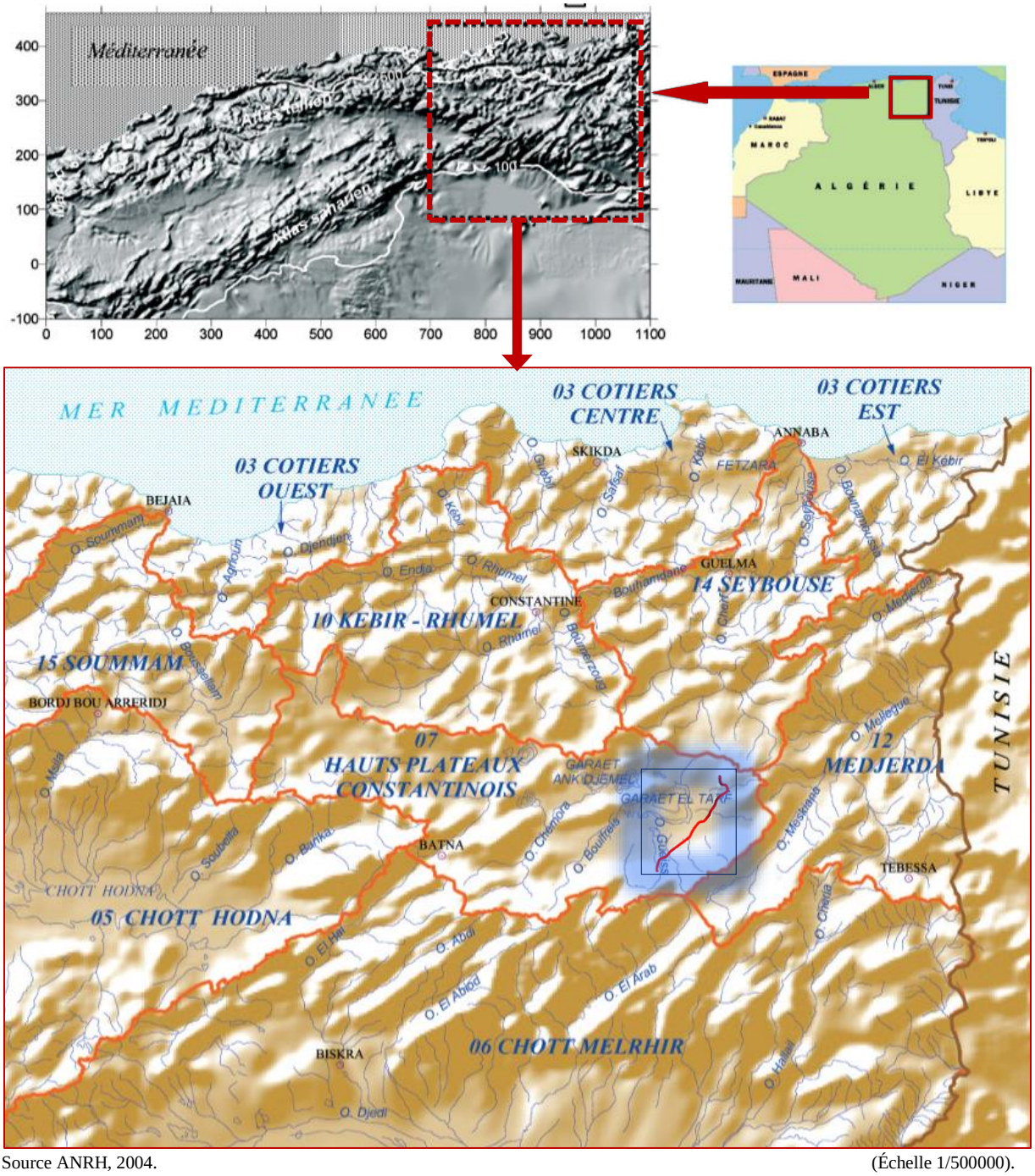
Une étude hydrologique approfondie permet d'acquérir une connaissance détaillée des caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région spécifique. En analysant ces paramètres, les hydrologues sont en mesure de comprendre la dynamique des eaux, d'évaluer leur disponibilité et d'anticiper les éventuels risques liés aux inondations, à la sécheresse ou à d'autres phénomènes hydrologiques.

Dans les projets d'infrastructures ferroviaires, l'objectif de l'étude hydrologique consiste à garantir que la nouvelle ligne ferroviaire soit conçue et mise en œuvre de manière à minimiser les impacts sur l'environnement aquatique et à assurer sa durabilité.

V.1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE :

Du point de vue hydrologique, le tracé de ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela, objet de la présente étude, fait partie du bassin versant des hauts plateaux Constantinois N°07, (selon la codification de l'ANRH, voir **figure N°VI.01**).

Le bassin N°07 est subdivisé en sept (07) sous bassin, la zone d'étude se localise dans le sous bassin N°07 de chotte de « Garaet El Tarf » (voir **figure N°VI.01**)



Source ANRH, 2004. (Échelle 1/500000).

Figure N°V.01 :
Bassins hydrographiques du haut plateau constantinois (N°07) et position de la zone d'étude (BV de Garaet El Tarf N°07-07)

V.1.2. LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES :

V.1.2.1. CLIMAT :

La région d'étude, appartient au domaine bioclimatique semi-aride. Elle est caractérisée par des précipitations assez rares souvent insuffisantes même pour des cultures résistantes à la sécheresse, par conséquent le développement du couvert végétal est limité (**figure N°VI.02**).

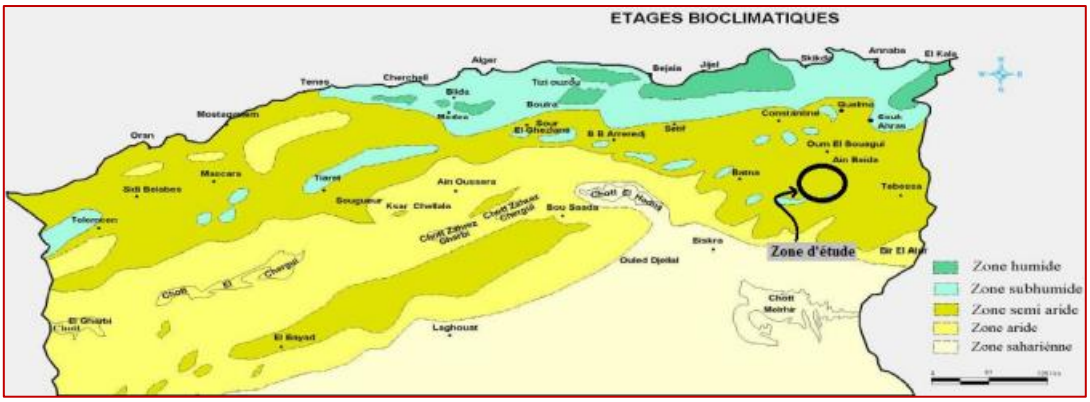


Figure N°V.02 : Étages bioclimatiques de la zone d'étude.

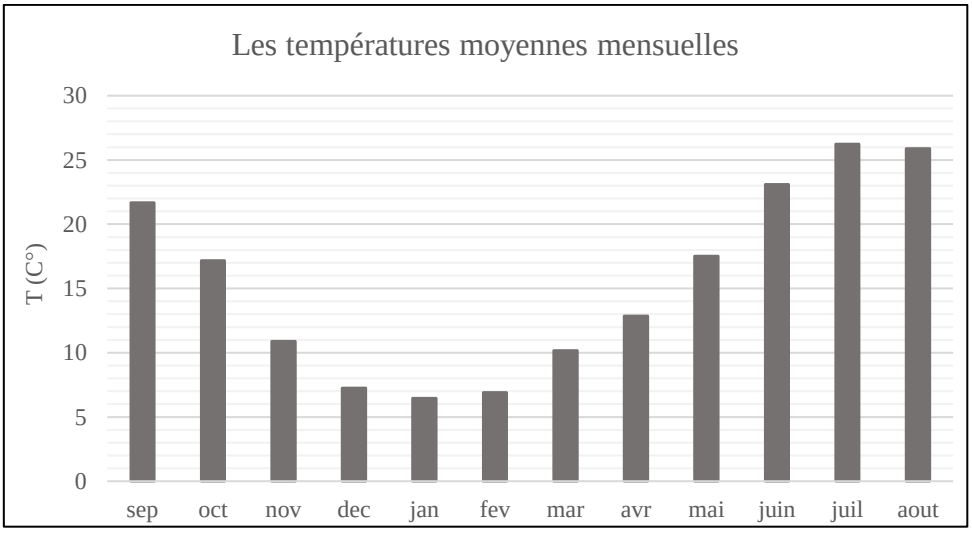
V.1.2.2. LA TEMPÉRATURE :

Les données des températures mesurées à la station d'Oum El Bouaghi pour la période (1990-2013) sont illustrées dans le graphe ci-dessous.

Tableau N°V.01 : Les températures moyennes mensuelles

Source : ONM (en C°) Station Oum El Bouaghi - 1990/2013

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
Oum El Bouaghi	21,67	17,17	10,89	7,25	6,47	6,9	10,16	12,87	17,51	23,1	26,23	25,88



Source : ONM (en C°) Station Oum El Bouaghi - 1990/2013

Figure N°V.03 : Variation des températures moyennes mensuelles.

L'analyse de tableau N°VI.01 montre que la température moyenne est élevée pendant la période sèche allant du mois de juin à septembre avec un maximum de l'ordre 26.23°C enregistré au mois de juillet à la station de Oum El Bouaghi. En revanche, la période hivernale (décembre à février) est caractérisée par des valeurs plus basses varient de 6 à 8°C avec un minimum pouvant atteindre 6,47°C, observé au mois de janvier par la même station (**Figure N°VI.03**).

V.1.2.3. LES PRÉCIPITATIONS :

En raison de sa localisation climatique, la zone d'étude se distingue par une pluviométrie faible, généralement comprise entre 200 et 600 mm par an, et par des précipitations intenses. De plus, la répartition spatiale et temporelle de ces précipitations est très irrégulière, avec une concentration fréquente sur quelques jours ou quelques heures. Toutefois, ces phénomènes se produisent principalement de manière saisonnière, entre les mois d'octobre et d'avril. Ce régime pluviométrique particulier, caractéristique des régions semi-arides, est responsable des crues et des inondations observées.

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

a. Les précipitations annuelles :

Nous prenons en considération la valeur de :

$$P_{moy} = 383\ mm$$

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles, ajustée à la loi normale (loi de Gauss), pour différentes fréquences :

Tableau N°V.02 : Pluies annuelles en mm.

T	F(x)	1-F(x)	U. Gauss	Pa
10	0,1	0,9	1,28	486
50	0,02	0,98	2,05	549
100	0,01	0,99	2,33	571

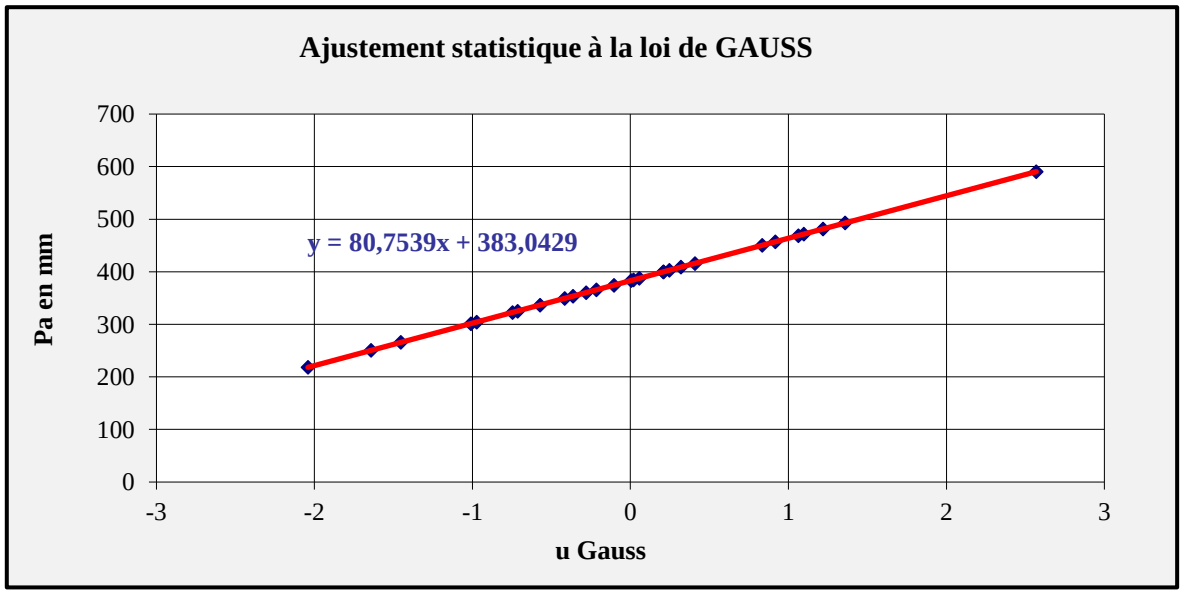


Figure N°V.04 : Ajustement des pluies annuelles.

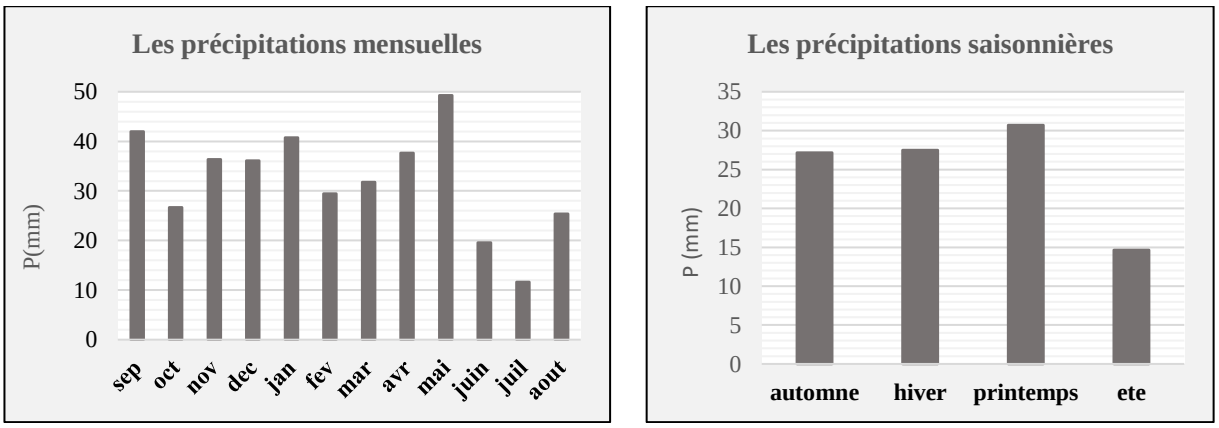
b. Les précipitations mensuelles et saisonnière :

Le **tableau N°VI.03** et la **figure N°VI.05** révèlent que le mois de mai est le plus pluvieux avec un maximum de 49.29 mm obtenu à la station de Khenchela, en revanche le mois de juillet est considéré comme le plus sec avec un minimum de 11,65 mm enregistré à la station d'Oum El Bouaghi.

Tableau N°V.03 : Les précipitations mensuelles et saisonnière.

Source : ONM (en mm) Station Oum El Bouaghi - 1990/2013

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
$P_{mensuelles}$ mm	41,95	26,65	36,38	36,1	40,77	29,45	31,8	37,67	49,29	19,6	11,65	25,37
$P_{mensuelles}$ %	11	7	9	9	11	8	8	10	13	5	3	7
Saison	**Automne**			**Hiver**			**Printemps**			**Été**		
$P_{saisonniere}$ mm	104,98			106,32			118,76			56,62		
$P_{saisonniere}$ %	27			27			31			15		



Source : ONM (en mm) Station Oum El Bouaghi - 1990/2013

Figure N°V.05 : Variation des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières.

La présence d'une saison sèche est observée entre les mois de juin et d'août, avec des précipitations mensuelles moyennes égales ou inférieures à 19 mm, tandis qu'une saison relativement humide se manifeste durant les autres mois de l'année.

L'analyse de la répartition des précipitations mensuelles en pourcentage (%) révèle clairement que les mois les plus pluvieux correspondent à décembre et janvier pendant l'hiver, et avril et mai pendant le printemps. Ces quatre mois représentent à eux seuls plus de 40% des précipitations annuelles, tandis que les mois d'été affichent un déficit significatif, avec moins de 7% du total annuel de précipitations pour chaque mois.

c. Les précipitations journalières :

La préservation contre les dommages causés par les eaux exige une attention particulière envers les précipitations journalières maximales annuelles. En théorie, les valeurs extrêmes peuvent être ajustées selon la loi des valeurs extrêmes. En Algérie, il a été constaté que les précipitations journalières maximales annuelles s'ajustent à la loi de Gumbel.

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

Tableau N°V.04 : Pluies journalières maximales en mm.

T	F(x)	1-F(x)	U. Gumbel	Pjmax
10	0,1	0,9	2,25037	**60**
50	0,02	0,98	3,90194	**79**
100	0,01	0,99	4,60015	**87**

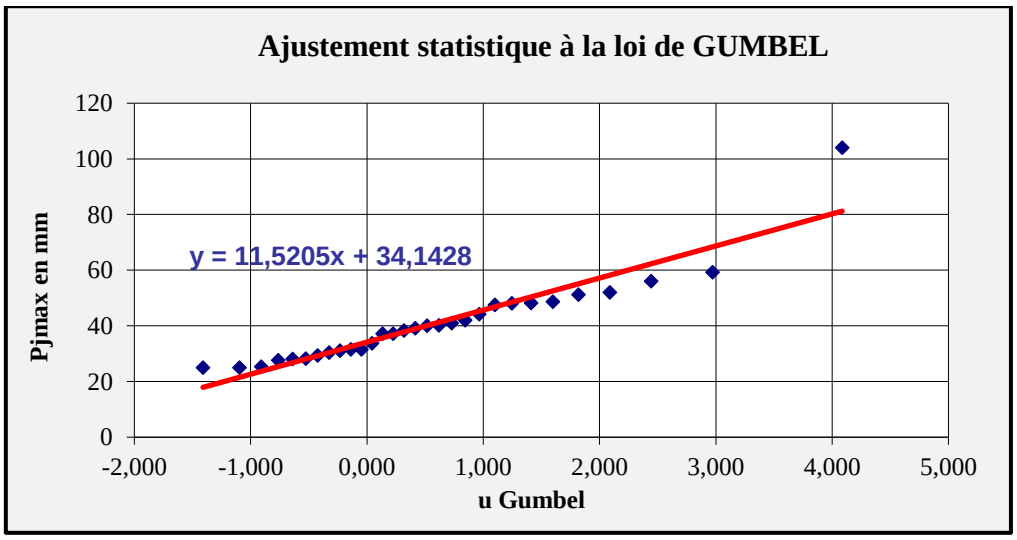


Figure N°V.06 : Ajustement des pluies journalières maximales.

d. Les pluies de courte durée :

La recherche de la loi Intensité - Durée – Fréquence (IDF) implique l'analyse des graphiques d'enregistrements pluviométriques. À partir de ces enregistrements, des calculs ont été réalisés pour déterminer les quantités de précipitations correspondantes à différents intervalles de temps (15 mm, 30 mm, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures, 24 heures). Pour chaque intervalle de temps, la valeur maximale de précipitations par averse a été sélectionnée. Ce processus a permis d'obtenir une série de données pour chaque pas de temps, englobant l'ensemble de la période dépouillée.

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

- **I** : Intensité de pluie exprimée en en mm/tr ;
- **T** : Période de retour exprimé en ans ;
- **t** : Temps exprimé en heures ;
- **a** et **b** : Paramètres de Montana.

La relation obtenue est la suivante **:** $\boldsymbol{I(t,T) = a(T)/t^{0.73}}$ Avec **b = 0.73**

Tableau N°V.05 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour.

T	5	10	20	50	100
a(T)	20.2	23.8	27.3	31.8	35.2

Tableau N°V.06 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour.

I (t, T)	5	10	20	50	100
15 min	55.57	65.46	75.10	87.48	96.84
30 min	33.51	39.48	45.28	52.74	58.38
1h	20.2	23.8	27.3	31.8	35.2
2h	12.2	14.4	16.5	19.2	21.2
3h	9	10.7	12.2	14.3	15.8
6h	5.5	6.4	7.4	8.6	9.5
12h	3.3	3.9	4.5	5.2	5.7
24h	2	2.3	2.7	3.1	3.5

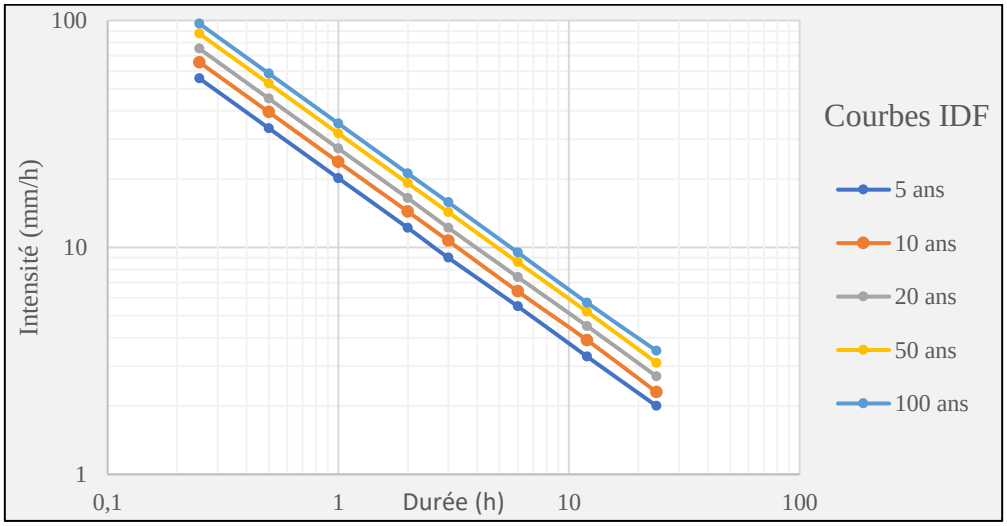


Figure N°V.07 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF).

V.1.2.4. LE VENT :

La région étudiée est balayée par 2 types de vents :

- Les vents soufflant, nord-ouest et nord, en hiver : froids, secs et sont les plus fréquents au cours de l'année. La vitesse de ces derniers peu atteindre les 3 m/s.

- Le sirocco : c'est un vent saharien violent très sec et très chaud qui souffle sur l'Afrique du Nord et le sud de la mer Méditerranée. Ce phénomène est plus courant au printemps et à l'automne et ils peuvent atteindre les 100 km/h particulièrement en mars et novembre.

VI.1.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS :

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

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

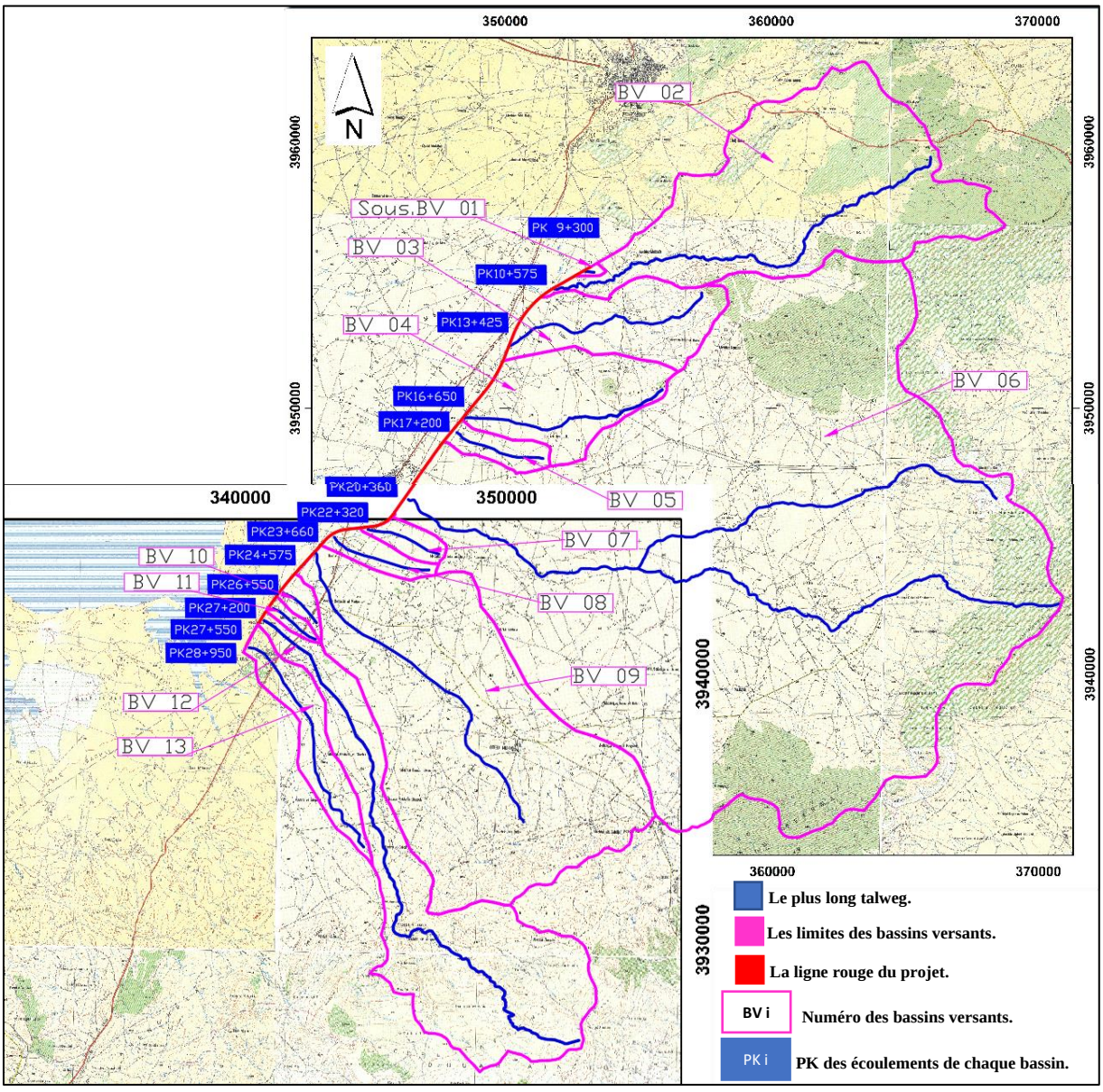


Figure N°V.08 : La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major.

Les paramètres sont les suivants :

- S (Km^2) : Surface.
- P (Km) : Périmètre.
- L (Km) : Longueur du plus long talweg.
- H_{max}, H_{min} et H_{moy} (m) : Altitude max, min et moyenne.
- Dh (m) : Différence entre l'altitude max et minimale du bassin.
- P (m/m) : Pente du talweg principal.
- K_c : Indice de compacité.

Tableau N°V.07 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants.

N° BV	PK	Kc	S	P	H_{max}	H_{min}	DH	H_{moy}	L	I
			Km^2	Km	m	m	m	m	Km	m/m
1	9+300	1,4	0,292	2,663	929	923	6	926	0,392	0,015
2	10+575	1,6	68,094	46,487	1323	907	417	1115	17,634	0,024
3	13+425	1,2	39,257	27,644	1118	884	234	1001	8,422	0,028
4	16+650	1,2	20,639	20,270	979	865	113	922	8,076	0,014
5	17+200	1,4	3,860	9,495	889	863	26	876	3,645	0,007
6	20+360	1,3	306,257	82,624	1302	854	448	1078	25,843	0,017
7	22+320	1,3	2,884	7,738	861	850	10	856	2,964	0,003
8	23+660	1,4	3,836	10,049	860	845	15	852	4,002	0,004
9	24+575	1,3	91,735	44,017	1204	850	353	1027	13,956	0,025
10	26+550	1,2	3,436	7,846	866	850	16	858	1,835	0,009
11	27+200	1,4	1,244	5,621	863	850	12	857	2,151	0,006
12	27+550	1,9	54,130	51,197	1388	850	538	1119	17,580	0,031
13	28+950	1,8	10,977	21,696	951	853	98	902	5,880	0,017

V.1.4. CALCUL DE DÉBIT MAXIMAL DANS LES BASSINS (DÉBIT DE CRUE) :

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau revêt un intérêt manifeste en raison des effets dévastateurs bien connus de ces événements hydrologiques.

Afin d'évaluer les débits maximaux des bassins versants aux emplacements des franchissements les plus importants, des formules empiriques sont utilisées. Ces formules sont élaborées en prenant en compte à la fois les précipitations et les caractéristiques physiques des bassins versants.

V.1.4.1. FORMULE RATIONNELLE : (A < 10 KM²)

La formule rationnelle a comme principe fondamental le fait que la pluie génératrice de crue est celle de durée égale au temps de concentration.

La formulation permet de calculer le débit maximal associé à une certaine période de retour par la relation suivante :

$$Q_A = \frac{C.I.A}{3.6}$$

Dans laquelle :

- **Q_A:** Débit de crue de fréquence déterminée en m3/s.
- **C :** Coefficient de ruissellement.
- **I :** Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- **A :** Surface du bassin versant en (Km).

- **Le coefficient de ruissellement :**

Pour la détermination du coefficient du ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY : $C_r = C_1 + C_2 + C_3$

Avec : C_r**:** Coefficient de ruissellement ;

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

Tableau N°V.08 : Valeurs de C_1

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

Les valeurs des pentes ont été représentées dans le tableau des caractéristiques morphologiques des bassins versants des écoulements superficiels traversés par le tracé du projet de ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela (Tableau N°V.07, p.09).

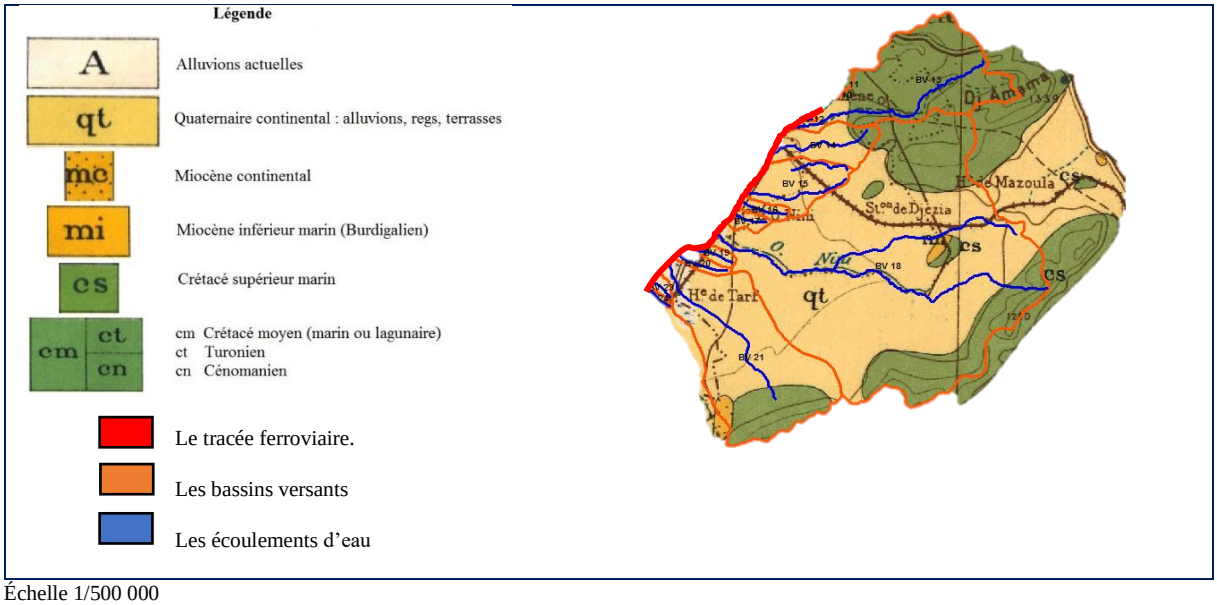
C_2: Dépend de la perméabilité du terrain.

Tableau N°V.09 : Valeurs de C_2

la perméabilité du terrain	Coefficient C_2:
les terrains imperméables.	0.22 – 0.3
les terrains pas assez perméables.	**0.1** – 0.2
les terrains perméables.	0.06 – 0.1
les terrains très perméables.	0.06 – 0.05

Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de la wilaya d'Oum El Bouaghi et de Khenchela.

D'après la carte géologique au 1/500 000 (**Figure N°VI.09**), on remarque que les affleurements de la zone d'étude sont essentiellement d'âge quaternaire (les alluvions).



Échelle 1/500 000

Figure N°V.09 : Tracé de la ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela sur la carte géologique.

C_3**:** Dépend de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau N°V.10 : Valeurs de C_3

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

Lors de la visite sur site effectuée le 15/03/2023, il a été observé que la zone d'étude est principalement caractérisée par une couverture végétale dominée par des champs cultivés qui ont été labourés.

- **Temps de concentration :**

Le calcul du temps de concentration exerce une grande influence sur l'évaluation des débits des crues, cette caractéristique du bassin versant dépend de l'étendue, de la forme et de la pente du bassin versant. Nous proposons, ci-dessous, l'utilisation des formules habituelles en Algérie en fonction de la surface des bassins versants :

- **Formule de Ventura :** (A < 5 km²)

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

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

- **Formule de Passini :** (5 km² < A < 25 km²)

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

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

- **Formule de GIANDOTTI :** (A > 25 km²)

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

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

H =Hmoy - Hmin

N.B : Le présent projet comprend un bassin versant d'une superficie assez importante avoisinant les 300km² (**BV N°06**). Afin d'améliorer l'estimation, il devenait nécessaire d'incorporer quelques formules supplémentaires. Le temps de concentration sera évalué, alors, en calculant la moyenne des valeurs qui se rapprochent le plus les unes des autres.

- **Formule de Kiprich :**

$$T_C = 0.19395 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.77}$$

L : Longueur du talweg principale en [Km].

I : La pente moyenne du cours d'eau.

- **Formule de SOGREAH – ANRH :**

$$T_C = 3 \times \left(\frac{S.L}{(10 \times I)^{1.5}}\right)^{0.25}$$

S : Surface du bassin versant en Km^2.

L : Longueur du cours d'eau en Km.

I : Pente du cours d'eau principal en %.

V.1.4.2. FORMULE DE MALLET-GAUTHIER : (A > 10 KM²)

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

$$Q_A = 2 \,.\, k \,.\, \log(1 + a \,.\, P) \,.\, \frac{S}{\sqrt{L}} \,.\, \sqrt{1 + 4\, log\, T - log\, S}$$

Qa : Débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).

P : Précipitation moyenne interannuelle en m.

S : Superficie du bassin versant (Km2).

T : Période de retour en années.

L : Longueur du talweg principal (Km).

a : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 et 30. Il est pris généralement égal à 20 pour l'Algérie.

k : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité), compris entre 0.5 et 5.

V.1.4.3. FORMULE DE CRUPEDIX : (A > 50 KM² JUSQU'À 2000 KM²) [1]

Cette méthode permet l'estimation du débit instantané décennal à partir de la pluie journalière décennale et de la surface.

$$Q_{10} = A^{0.8} \,.\, \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^{0.8} \,.\, R$$

Où :

Q_{10} : Débit de crue instantané de fréquence décennale (m^3/s),

A : Superficie du bassin versant (km^2),

P_{10} : Précipitations journalières de fréquence décennale (mm),

R : Coefficient régional qui varie entre 0.2 et 1.8.

- R = 0,2 pour des terrains perméables.
- R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
- R = 1 pour des terrains intermédiaires.

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

$$Q_{100} = b' \,.\, Q_{10}$$

Avec b' un paramètre régionale dépendant de la superficie du bassin versant $b' = 2$ par défaut si A > 20 km^2.

[1] Rapport de recherche N° R – 600, « synthèse de méthodes simples de régionalisation », Chaire Hydro-Québec /Alcan en hydrologie statistique, Institut National de la Recherche Scientifique, Québec.

V.1.5. RÉSULTATS DE CALCUL DES DÉBITS POUR LE PRÉSENT PROJET :

Dans le tableau ci-dessous, nous calculons les débits centennaux maximaux des Oueds en utilisant les formules expliquées précédemment.

Tableau N°V.08 : Les débits de crue retenus des Oueds pour une période de 100 ans.

N° BV	PK	S (Km^2)	Cr	Tc (H)	I (T, Tc) (Mm/H)	Q_{100}		
						Rationnelle	Mallet – Gautier	Crupedix
1	9+300	0,292	0,18	0,554	54,150	0,791	-	-
2	10+575	68,094	0,18	5,150	10,640	-	-	198,889
3	13+425	39,257	0,18	4,358	12,018	-	34,514	-
4	16+650	20,639	0,18	5,017	10,844	-	18,877	-
5	17+200	3,860	0,18	2,931	16,057	3,101	-	-
6	20+360	306,257	0,18	12,659	5,518	-	-	662,206
7	22+320	2,884	0,18	3,671	13,621	1,966	-	-
8	23+660	3,836	0,18	4,011	12,770	2,451	-	-
9	24+575	91,735	0,18	5,572	10,045	-	-	252,435
10	26+550	3,436	0,18	2,510	20,271	3,486	-	-
11	27+200	1,244	0,18	1,863	25,431	1,583	-	-
12	27+550	54,130	0,18	4,253	13,577	-	-	139,750
13	28+950	10,977	0,18	3,358	16,248	-	11,974	-

Plusieurs formules on était utilisé pour le calcul de débits, en plus des formules précédentes, on a la formule de TURAZA, MAC-MATH, BURKLIER_ZIERGLER, FULLER II, TRANSITION et après l'analyse des résultats on s'est basé sur les formules du tableau ci-dessus.

V.2. ÉTUDE HYDRAULIQUE :

L'eau représente un élément dont les effets peuvent être délétères pour un projet ferroviaire, menaçant ainsi son intégrité et la durabilité de la voie ferrée. Une étude appropriée devient nécessaire, pour éviter que le tracé ferroviaire envisagé perturbe les écoulements naturels d'eau et entrave ces flux hydriques et les maintenir dans leurs lits et leurs exutoires naturels situés en dehors de l'emprise de la voie.

L'assainissement des plateformes ferroviaires comprend :

- Les ouvrages de collecte longitudinale.
- Les ouvrages transversaux.
- Les ouvrages de raccordement.
- Les ouvrages d'équilibre.

V.2.1. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES TRANSVERSAUX :

Le principe général de l'assainissement des plateformes ferroviaires consiste à s'assurer que le débit évacué, en cas de pluie intense, est inférieur au débit maximal que l'ouvrage hydraulique sélectionné peut supporter. Ce débit maximal est déterminé par la section pleine (ou saturation) de l'ouvrage, qui peut être évaluée à l'aide de la relation de Manning-Strickler.

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

Tel que :

Qs : Débit de saturation de l'ouvrage.

Ks : Coefficient de rugosité. Pour le béton : Ks = 70.

Sm : Section mouillée.

Pm : Périmètre mouillé.

Rh : Rayon hydraulique.

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

V.2.1.1. DIMENSIONNEMENT DES BUSES :

Le calcul hydraulique des ouvertures circulaires se fait en utilisant la formule de Manning Strickler à la saturation :

$$Q_S = Q_{max}$$

Avec :

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

D'où :

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

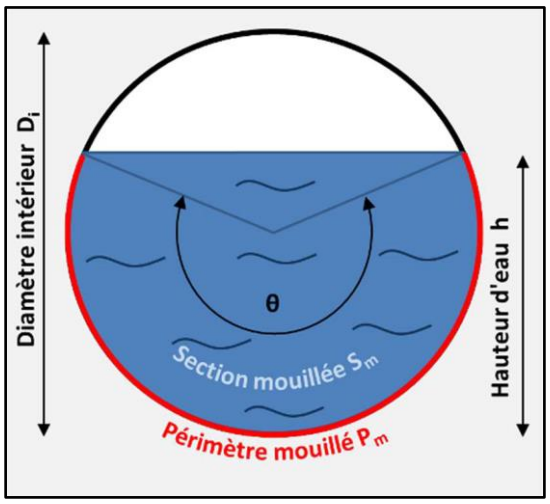


Figure N°V.10 : Schéma d'un ouvrage busé.

La vérification des conditions d'auto-curage :

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

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

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

Application numérique :

Prenons le BV N°05 (PK 17+200) : $\boldsymbol{Q_{\max\,(100)} = 3.101\ m^3/s}$

On prend : **Ks = 70 ; I = 0.01**

$$D = 4^{5/8} \times \left(\frac{Q_{\max\,(100)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I}} \right)^{3/8} = 4^{5/8} \times \left(\frac{3.101}{70 \times \pi \times \sqrt{0.01}} \right)^{3/8} = \mathbf{1140.9742\ m}$$

On choisit un diamètre commercial de **1.50 m.**

$$Q_{PS} = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times I^{0.5}$$

$$Q_{PS} = 70 \times \pi \times \frac{1.2^2}{4} \times \left(\frac{1.2}{4}\right)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = \mathbf{6.433\ m^3/s}$$

$$V_{PS} = \frac{Q_{PS}}{S_m} = \mathbf{3.640\ m/s}$$

$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{Ps}} = 0.482$ ➔ $V = R_v \times V_{PS}$ ➔ H= $R_h \times D$ (Rapport des vitesses et des hauteurs Sont retenus de tableau 6 en annexe)

Le tableau ci-dessous montre la vérification des 3 conditions d'auto-curage de l'ouvrage busée pour le **BV N°05** :

Tableau N°V.09 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°05).

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	0.482	1.13	3.602	OK ✓
$V > 0.6\ m/s$	0.1	0.64	2.330	OK ✓
$V > 0.3\ m/s$	0.01	0.32	1.165	OK ✓

Tableau N°V.10 : Liste globale des ouvrages busée à projeter.

Bassin	**01**	**05**	**07**	**08**	**10**	**11**
PK	09+300	17+200	22+320	23+660	26+550	27+200
$Q_{max\ (100ans)}\ (m^3/s)$	0,791	3,101	1,966	2,451	3,486	1,583
Rugosité Ks	70	70	70	70	70	70
Pente (m/m)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Diamètre théorique	683,57	1140,97	961,69	1044,62	1192,05	886,73
Diamètre retenu	1500	1500	1500	1500	1500	1500
V_{ps}	3,640	3,640	3,640	3,640	3,640	3,640
Q_{ps}	6,433	6,433	6,433	6,433	6,433	6,433
$R_q = Q/Q_{ps}$	0,123	0,482	0,306	0,381	0,542	0,246
$1\ m/s < V < 4\ m/s$	2,459	3,602	3,203	3,378	3,722	3,021
$V > 0.6\ m/s$	2,330	2,330	2,330	2,330	2,330	2,330
$V > 0.3\ m/s$	1,165	1,165	1,165	1,165	1,165	1,165
Hauteur de remplissage	356	734	570	642	787	510,
Vérification	OK ✓	OK ✓	OK ✓	OK ✓	OK ✓	OK ✓

V.2.1.2. DIMENSIONNEMENT DES DALOTS :

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section et sa hauteur utile d'eau avec une hauteur de remplissage de 0.75 H.

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

$$Q_S = Q_{max}$$

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

$$= 70 \times (0.75\,.H.B)\left(\frac{0.75\,.H.B}{B+1.5H}\right)^{2/3} \times I^{0.5}$$

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

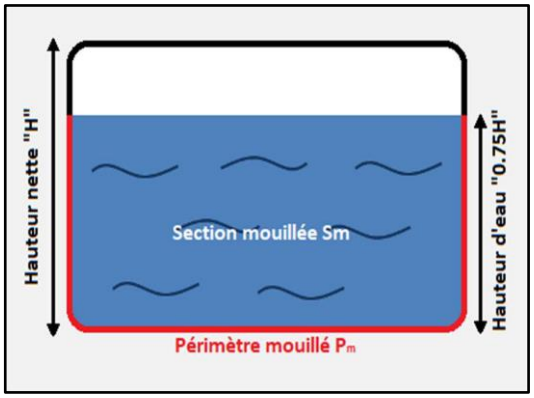


Figure N°V.11 : Schéma d'un ouvrage busé.

$$H_{i+1} = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}}\right]^{3/5} \times \frac{(B+1.5H_i)^{2/5}}{0.75B} \qquad Avec \quad H_0 = \left[\frac{Q_{max}}{K_s \times I^{1/2}}\right]^{3/5}$$

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

Application numérique :

Prenons le BV N°13 (PK 28+950) : $\boldsymbol{Q_{max\,(100)} = 11.974\ m^3/s}$

On prend : **Ks = 70 ; I = 0.01; B = 2.50 m**

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H = 1.345 m

On prend **H = 2.00 m**

Donc les valeurs retenues pour cette section de dalot sont : **B = 2.50 m ; H = 2.00 m**

Alors : $\boldsymbol{S_m = 3.750\ m^2}$; $\boldsymbol{P_m = 5.500\ m}$; $\boldsymbol{R_h = 0.682\ m}$

$$Q_S = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 3.375 \times (0.643)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = \boldsymbol{20.335\ m^3/s}$$

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

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q_S}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{17.597}{9.81 \times 3^2}} = \boldsymbol{0.692\ m} < 0.75\,.H = \boldsymbol{1.50\ m}$$ ✓ Ok

- **Vérification de la vitesse :**

$$V = \frac{Q_{max}}{S_m} = \frac{11.974}{3.750} = \boldsymbol{3.193\ m/s} < \boldsymbol{4\ m/s}$$ ✓ Ok

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

Le but est d'évaluer les vitesses d'écoulement correspondantes aux taux de remplissage de 1% et 10 % des débits afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage, en prenant en compte les problématiques liées à l'érosion des parois et à la stagnation des eaux.

$$Q_{PS} = K_s \times S_m \times {R_h}^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 5 \times \left(\frac{5}{6.5}\right)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = \mathbf{20.0335\ m^3/s}$$

$$V_{PS} = \frac{Q_{PS}}{S} = \mathbf{5.877\ m/s}$$

$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{Ps}} = 0.407$ ➔ $V = R_v \times V_{PS}$ (Rapport des vitesses et des hauteurs voire tableau 6 en annexe)

Le tableau ci-dessous montre la vérification des 3 conditions d'auto-curage de l'ouvrage busée pour le **BV N°013** :

Tableau N°V.14 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°013).

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
$V > 1\ m/s$	0.407	0.940	5.524	OK ✓
$V > 0.6\ m/s$	0.1	0.64	3.761	OK ✓
$V > 0.3\ m/s$	0.01	0.32	1.881	OK ✓

Tableau N°V.15 :
Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.

Bassin	03	04	13
PK	13+425	16+650	28+950
$Q_{max\ (100ans)}\ (m^3/s)$	34,514	18,877	11,974
Rugosité Ks	70	70	70
Pente (m/m)	0,01	0,01	0,01
Nombre dalot	2	1	1
Dimensions calculée BxH (mxm)	3.50 x 1.288	3.50 x 1.372	2.50 x 1.345
Dimensions obtenue BxH (mxm)	3.50 x 2.00	3.50 x 2.00	2.50 x 2.00
$Q_{saturation}(m^3/s)$	63,746	31,873	20,335
$H_C\ (m) < 0.75H$	0,642	0,642	0,692
$V_{saturation}(m/s)\ < 4\ m/s$	3,287	3,596	3,193
Q_{ps}	93,595	46,797	29,384
V_{ps}	6,685	6,685	5,877
$R_q = Q/Q_{ps}$	0,369	0,403	0,407
$R_V = V/V_{ps}$ (Tableau 6, Annex)	0,920	0,940	0,940
$V > 0.3\ m/s$	2,139	2,139	1,881
$V > 0.6\ m/s$	4,279	4,279	3,761
Vérification	OK ✓	OK ✓	OK ✓

Tableau N°V.16 : Liste globale des ouvrages projetés.

N° BV	PK de l'exutoire	S (Km^2)	Q_{100}	Ouvrage projeté	Dimensions
1	9+300	0,292	0,791	Buse	Φ1500
2	10+575	68,094	198,889	Pont rail	L = 60 m
3	13+425	39,257	34,514	Dalot	2 x (3.50 x 2.00)
4	16+650	20,639	18,877	Dalot	(3.50 x 2.00)
5	17+200	3,860	3,101	Buse	Φ1500
6	20+360	306,257	662,206	Pont rail	L = 80 m
7	22+320	2,884	1,966	Buse	Φ1500
8	23+660	3,836	2,451	Buse	Φ1500
9	24+575	91,735	252,435	Pont rail	L = 60 m
10	26+550	3,436	3,486	Buse	Φ1500
11	27+200	1,244	1,583	Buse	Φ1500
12	27+550	54,130	139,750	Pont rail	L = 60 m
13	28+950	10,977	11,974	Dalot	(2.50 x 2.00)

V.2.1.3. CAS PARTICULIER DE NOTRE PROJET :

Le tronçon objet de notre étude présente une difficulté majeure, à savoir, que le terrain entre le PK16+600 et PK 24+625 est plat (du moins dans la partie du tracé de la voie), ce qui dénote la présence d'une zone inondable. Ce constat implique la prise des mesures suivantes :

- L'obligation de passer avec un profil en remblais.
- L'ajout des buses d'équilibre.

En ce qui concerne l'ajout des buses d'équilibre, il est à note qu'on les a projetées au niveau :

PK 16+950 – PK 17+725 – PK 18+500 – PK 21+475 – PK 22+875 – PK 24+200

- **Au niveau de la gare :** L'objectif principal du système de drainage de la gare est de contrôler et d'évacuer efficacement les eaux pluviales et les inondations afin de prévenir les dommages causés aux voies ferrées, aux équipements et aux infrastructures avoisinantes, donc le système de drainage mis en place est suffisant sans nécessiter l'installation de buses d'équilibre supplémentaires.

V.2.2. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES LONGITUDINAUX (FOSSÉS) :

Le drainage longitudinal joue un rôle crucial dans la collecte et l'acheminement des eaux provenant à la fois des talus et des pentes adjacentes vers la plateforme de la voie. Ce drainage est assuré par des fossés à un niveau spécifique qui guideront les eaux vers les ouvrages hydrauliques ou directement vers les lignes d'eau existantes.

Afin de déterminer les surfaces à drainer, une analyse, des profils en travers ainsi que des caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est situé, a été effectuée.

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la figure ci-dessous (**Figure N°VI.12**).

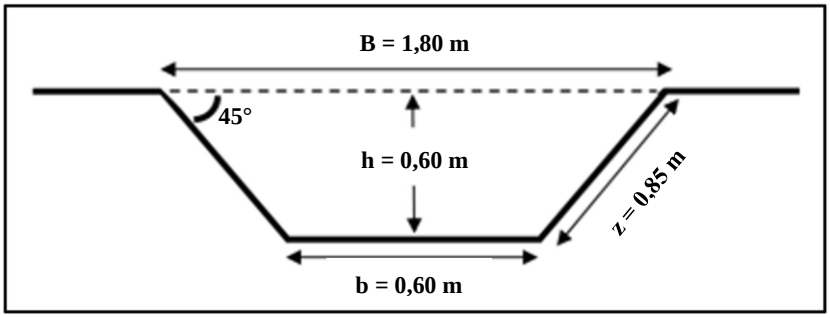


Figure N°V.12 : Fossé de forme trapézoïdal.

- **Calcul des débits d'apport :**

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

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

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

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 75 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 1/1.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

$$\mathbf{Qa = Q_{pf} + Q_t}$$

- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle : $\boldsymbol{Q = 0.278 \times C_r \times I \times A}$
  - Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).
  - C : Coefficient de ruissellement.
  - I : Intensité de pluie (mm/h).
  - A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les talus, en (km^2)

Tableau N°V.17 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur = 3115,60 m H_{talus} = 6 m Largeur de la plateforme = 6.8m	Le cas plus défavorable : Longueur = 1597,80 m H_{talus} = 7 m Largeur de la plateforme = 6.8m
Plateforme	C_r	0.7	0.7
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km2)	0,021186	0,010865
	T_c(h)	$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0.0924	0.0662
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ $avec\ a = 31{,}8\ \ b = 0{,}73$	
		180,92	230.78
	Q_{pf} (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		0.746	0.488
Talus	C_r	0.5	0.5
	P(m/m)	2/3	2/3
	A(Km2)	0,017668	0,011911
	T_c(h)	$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0.0207	0.0170
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ $avec\ a = 31{,}8\ \ b = 0{,}73$	
		539.22	622,586
	Q_T (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		1,324	1,031
Q_a (m3/s) (totale)		$Q_{pf} + Q_T$ = 2,07	$Q_{pf} + Q_T$ =1,519

Remarque : Il convient de noter que notre plateforme ferroviaire est conçue selon une disposition en forme de chapeau chinois, avec une largeur de 6,8 m à gauche et de 1,2 m à droite. Par conséquent, il est nécessaire de dimensionner le fossé situé à gauche, car il représente le cas le plus contraignant en termes de conception et de drainage.

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

Tableau N°V.18 : Dimensionnement du fossé proposé.

b	h	z	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h	K_s	I (m/m)	Q_s (m^3/s)
0,6	**0,6**	0,849	0,665	2,174	0,306	65	0,02	2,779

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

$$Qa < Qs$$

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (**b=0.6m, h=0.6 m, pente=1/1).**

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons pu, dans le cadre de notre projet, explorer l'étude hydrologique et hydraulique pour s'assurer de la sécurité et de la stabilité du projet. Nous avons pu évaluer aussi les bassins versants, quantifié les débits d'eau, dimensionné les infrastructures hydrauliques pour minimiser les risques d'inondation et garantir des opérations ferroviaires efficaces tout au long de l'année. Ainsi, cette approche rigoureuse de ces études contribue à la durabilité et à la fiabilité du projet ferroviaire, tout en préservant les ressources en eau et en minimisant l'impact sur l'environnement avoisinant.

CHAPITRE VI :

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

INTRODUCTION :

L'étude géotechnique et géologique vise à évaluer les caractéristiques du sol (physiques /mécaniques), de la roche et des formations géologiques qui seront rencontrées lors de la construction et de l'exploitation. Elle comprend des investigations sur le terrain, des essais de laboratoire et l'analyse des données recueillies afin de caractériser les matériaux géotechniques.

Les informations obtenues permettent d'évaluer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion et d'autres paramètres importants pour la conception des fondations, des remblais, des talus et d'autres structures liées au projet ferroviaire.

Une compréhension approfondie de la géologie et de la géotechnique est essentielle pour assurer la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures ferroviaires.

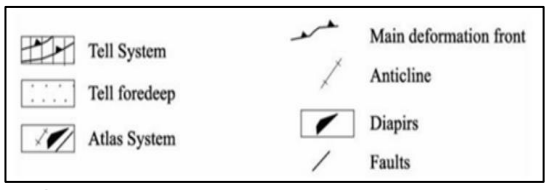
VI. 1. ÉTUDE GÉOLOGIQUE :

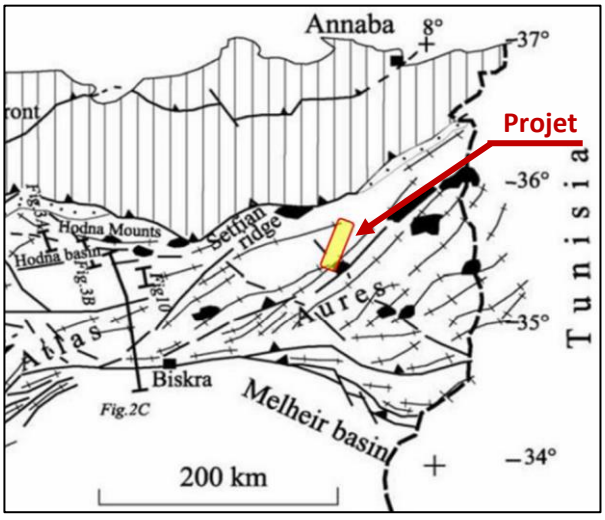
L'étude géologique se concentre sur l'analyse des formations géologiques présentes dans la zone d'étude. Elle vise à analyser la composition géologique, la structure et l'histoire géologique du sous-sol. L'identification des différentes couches géologiques, des failles, des zones instables, des aquifères, ou la présence de formations rocheuses, permet de prévoir les éventuels risques géologiques, qui pourraient avoir un impact sur la conception, la construction et l'exploitation de la voie ferrée, tels que les mouvements de terrain, les affaissements ou les infiltrations d'eau.

Elle aide également à minimiser les impacts environnementaux et de mettre en place des mesures d'atténuation appropriées. Sans oublier la distinction entre les sites des matériaux susceptibles d'être réutilisés à ceux qui sont médiocres.

VI.1.1. APERÇU GÉOLOGIQUE RÉGIONALE :

Le projet se situe dans la région entre le vaste quadrilatère montagneux des Aurès et les vastes plains de F´Kirina et d´Oum El Bouaghi. Les monts des Aurès prolongent l'Atlas saharien vers le Nord-Est.





Bracène & de Lamotte 2002 Tectonophysics 357

Figure N°VI.01 : Carte des structures géologiques de l'est de l'Algérie.

VI.1.2. APERÇU GÉOLOGIQUE LOCAL :

D'après la carte géologique 1/500 000 de la wilaya d'Oum Boughi et Khenchela, la zone d'étude présente une géologie hétérogène. Le tracé de la voie ferrée traverse principalement deux formations géologiques, qui varient en fonction des points kilométriques. Le tronçon du PK16+600 jusqu'au PK 24+625, contourne la zone épisodiquement inondable.

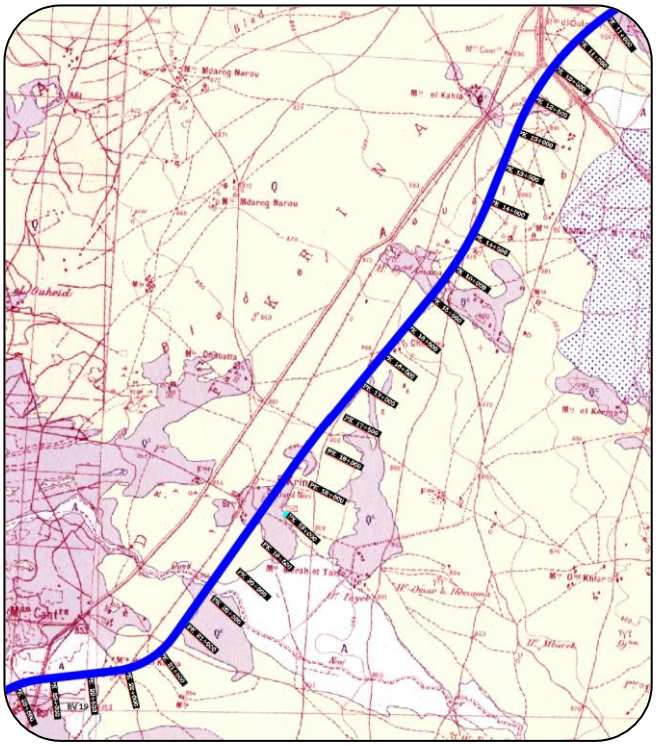
Ces formations géologiques spécifiques traversées par la voie peuvent avoir une influence sur les caractéristiques du sol et nécessiteront une analyse plus détaillée lors de l'étude géotechnique pour comprendre leur comportement et prendre les mesures appropriées pour la conception et la construction de la voie ferrée.

Les informations sur la géologie traversée par la voie sont résumées dans les figures et le tableau ci-dessous :



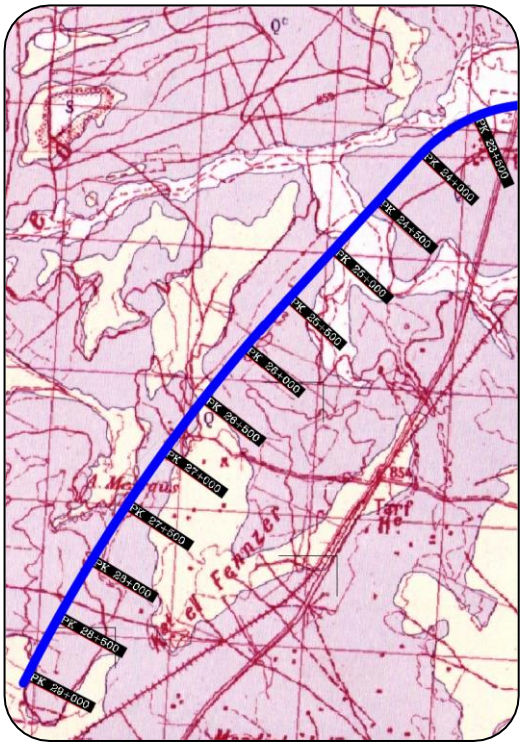
Echelle 1/500 000

Figure N°VI.02 : Tronçon de PK 09+000 au PK 11+000 sur la Carte géologiques.



Echelle 1/500 000

Figure N°VI.03 : Tronçon de PK 11+000 au PK 23+500 sur la Carte géologiques



Echelle 1/500 000

Figure N°VI.04 : Tronçon de PK 23+500 au PK 29+000 sur la Carte géologiques.

Tableau N°VI.01 : La géologie traversée par la voie de PK 09+000 au PK 29+000.

Localisation (PK)	Extension (m)	L'âge	Périodes	Unité géologique	Désignation /Description
09+000 au 11+000 (Figure N°VII.02)	2000	Cénozoïque	Quaternaire	Q_C	Encroûtement calcaire – Villafranchien probable
11+000 au 23+500 (Figure N°VII.03)	12500	Cénozoïque	Quaternaire	Q avec quelques passages de Q_C	Alluvions, Terres arables, Quaternaires indéterminé
23+500 au 29+000 (Figure N°VII.04)	5500	Cénozoïque	Quaternaire	Majoritairement Q_C	Encroûtement calcaire – Villafranchien probable

VI.1.3. RISQUES GÉOLOGIQUES :

Les risques géologiques en Algérie, tels que les séismes, sont représentés sur une carte sismique qui indique la répartition des différentes zones sismiques en fonction de l'intensité des tremblements de terre enregistrés. Dans l'ensemble de la zone étudiée, le risque de tremblement de terre est considéré comme faible (zone I), avec des niveaux d'accélération sismique de base compris entre 0,10g m/s2 et 0,15g m/s2.

La majorité du tracé ne présente pas de difficultés géologiques majeures, à l'exception du tronçon allant du PK 16+600 au PK 24+625, qui est sujet à des inondations et à des variations de la nappe phréatique.

VI.2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE :

La géotechnique est une discipline scientifique dont l'objectif principal est de localiser les différentes couches géologiques et de fournir des informations sur chaque couche, ainsi que sur les caractéristiques mécaniques et physiques des sols.

Une connaissance approfondie des terrains traversés est essentielle lors de la réalisation d'un projet ferroviaire, ce qui rend les investigations géotechniques indispensables.

VI.2.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE :

Le programme d'investigation géotechnique est généralement basé sur les résultats et les informations recueillies lors de la campagne de reconnaissance géotechnique.

La campagne de reconnaissance fournit une évaluation initiale des conditions géotechniques du site, ce qui permet de déterminer les zones potentiellement problématiques et les zones où des investigations plus détaillées sont nécessaires.

Le programme d'investigation géotechnique est ensuite élaboré en utilisant les informations de la campagne de reconnaissance pour définir les méthodes d'investigation spécifiques, les emplacements des forages, les essais en laboratoire et les analyses géotechniques nécessaires.

Les résultats de la campagne de reconnaissance guident la planification du programme d'investigation pour assurer une collecte de données approfondie et précise afin de mieux comprendre les caractéristiques géotechniques du site.

En résumé, la campagne de reconnaissance géotechnique fournit une première évaluation des conditions du site, tandis que le programme d'investigation géotechnique est basé sur ces informations pour réaliser une étude plus détaillée et approfondie. En effet, un recueil d'informations détaillé par l'investigation géotechnique sur les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, il est possible de prendre des décisions éclairées concernant les méthodes de construction, les matériaux à utiliser et les paramètres de conception appropriés pour assurer la stabilité, la durabilité et la performance optimale.

Le programme d'investigation géotechnique proposé, pour le présent projet, vise à analyser le tracé projeté de la ligne ferroviaire Ain El Beida-Khenchela. Ledit programme est composé de deux lots, le tracé et l'ouvrage.

- **Lot Tracé :**

L'étude approfondie du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques pour chaque déblai et remblai est essentielle pour sélectionner une structure d'assise appropriée. Cette étape vise à déterminer les propriétés physico-chimiques et mécaniques du sol en place afin de réaliser les tâches suivantes :

- Le calcul de la portance du sol support pour dimensionner la couche d'assise de la voie ferrée. Cela implique l'évaluation de paramètres tels que la résistance à la compression, la cohésion, l'angle de frottement interne et la compressibilité du sol.

- En fonction des caractéristiques du sol, il peut être envisagé d'utiliser le sol local comme matériau de remblai ou couche de forme. L'analyse doit tenir compte de facteurs tels que la stabilité, la capacité portante et la perméabilité du sol.

- **Lot Ouvrages :**

Il est également primordial de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction des ouvrages, en mettant l'accent sur la définition des fondations, ainsi les objectifs ici sont :

- La collecte des données précises sur les propriétés physico-chimiques du sol, telles que la granulométrie, la plasticité, la teneur en eau, la composition minérale, la densité, etc. Cela permet d'évaluer la nature et les comportements mécaniques de la zone d'implantation des ouvrages.

- Évaluation de la capacité portante du sol sous les ouvrages est important pour garantir leur stabilité et durabilité. Cela implique la réalisation de tests géotechniques appropriés, afin de déterminer les paramètres de résistance du sol. Ces informations permettent de dimensionner les fondations, en prenant en compte les charges appliquées et les caractéristiques du sol.

VI.2.1.1. LOT TRACÉ :

- **PUITS DE RECONNAISSANCE :**

Les puits de reconnaissance sont des forages qui permettent d'observer la nature des formations géologiques en profondeur, d'évaluer l'épaisseur de la terre végétale et de prélever des échantillons pour l'identification et la caractérisation géotechnique en laboratoire.

- **ESSAI AU LABORATOIRE :**

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

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS) ;
- Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates) ;
- Essais mécaniques (Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai œdométriques).

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

Essais géotechniques						
Localisation		Type	Hauteur	Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
PU1	9+100	Remblai	2.04	01 puit de reconnaissance avecun prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche.	3 m	- Teneur en eau. - Granulométrie. - Limite d'Atterberg. - Proctor modifié. - CBR imbibé. - Analyse chimique. - VBS. - Essais œdométriques. - Essais cisaillement rectiligne.
PU2	10+500		2.00		3 m	
PU3	11+600		0.51		3 m	
PU4	12+800		0.15		3 m	
PU5	13+251		0.73		3 m	
PU6	14+100		0.77		3 m	
PU8	16+625		2.53		3 m	
PU9	17+225		3.68		3 m	
PU10	18+343		4.14		3 m	
PU11	21+300		2.42		3 m	
PU12	22+349		1.84		3 m	
PU13	23+701		2.55		3 m	
PU14	24+022		3.53		3 m	
PU15	24+617		5.10		3 m	
PU17	26+400		0.03		3 m	
PU7	15+200	Déblai	1.19		3 m	
PU16	25+300		5.70		3 m	
PU19	28+206		1.29		3 m	

Tableau N°VI.03 : La lithologie des puits de reconnaissance.

	PK	La lithologie	
PU1	09+100	00.00-00.25^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.25-00.70^{m}	Limon argilo-sableux.
		00.70-03.00^{m}	Tuf limoneux composé de limon argilo-gravelons légèrement sableux.
PU2	10+500	00.00-00.25^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.25-00.80^{m}	Limon argilo-sableux.
		00.80-02.00^{m}	Tuf limoneux composé de limon argilo-gravelons légèrement sableux.
		02.00-03.00^{m}	Argile alluvionnaire d'une granulométrie caillouto-graveleuse à sableuse.
PU3	11+600	00.00-00.30^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.30-00.80^{m}	Limon argilo-sableux.
		00.80-02.00^{m}	Tuf limoneux, composé de limon argilo-gravelons et caillouteux légèrement sableux.
		02.00-03.00^{m}	Argile alluvionnaire, d'une granulométrie caillouto-graveleuse à sableuse, cimentés par des argiles limoneuses.
PU4	12+800	00.00-00.35^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.35-01.00^{m}	Limon argilo-sableux et caillouto-gravelons.
		01.00-01.80^{m}	Tuf limoneux, composé de limon argilo-gravelons et caillouteux légèrement sableux.
		01.80-03.00^{m}	Argile alluvionnaire d'une granulométrie caillouto-graveleuse à sableuse, cimentés par des argiles limoneuses.
PU5	13+251	00.00-00.15^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.15-00.80^{m}	Limon argilo-sableux et caillouto-gravelons.
		00.80-01.70^{m}	Tuf limoneux, composé de limon argilo-gravelons et caillouteux légèrement sableux.
		01.70-03.00^{m}	Sable alluvionnaire, composé de sable-limoneux et gravelo-caillouteux, gypsifère.
PU6	14+100	00.00-00.20^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.20-01.00^{m}	Limon argilo-marneuse légèrement caillouto-gravelons.
		01.00-03.00^{m}	Argile limono-marneuse, légèrement gravelo-caillouteuse, gypsifère.
PU7	15+200	00.00-00.20^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.20-02.00^{m}	Limon argilo-marneux, localement caillouto-gravelons, renferment quelques fragments rocheux et des inclusions de gypse.
		02.00-02.50^{m}	Argile limono-marneuse, légèrement gravelo-caillouteuse, gypsifère.
PU8	16+625	00.00-00.10^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.10-03.00^{m}	Argile limono-marneuse, légèrement gravelo-caillouteuse, gypsifère.
PU9	17+225	00.00-00.20^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.20-00.50^{m}	Limon argilo-marneuse légèrement caillouto-gravelons.
		00.50-03.00^{m}	Argile limono-marneuse, légèrement gravelo-caillouteuse, gypsifère.
PU10	18+343	00.00-00.40^{m}	Argile limono-graveleuse.
		00.40-01.30^{m}	Limon argilo-marneuse légèrement caillouto-gravelons.
		01.30-03.00^{m}	Argile limono-marneuse à sableuse, légèrement gravelo-caillouteuse.
PU11	21+300	Argile limoneuse gypseuse vaseuse.	
PU12	22+349	Argile limoneuse gypseuse vaseuse.	
PU13	23+701	Argile limono-graveleuse.	
PU14	24+022	Argile limoneuse gypseuse vaseuse.	
PU15	24+617	Argile peu limoneuse gypseuse.	
PU16	25+300	Sable argileux.	
PU17	26+400	Sable argileux.	
PU19	28+206	Argile limono-graveleuse	

VI.2.1.2. LOT OUVRAGES :

Afin de collecter les données nécessaires à la construction des futurs ouvrages d'art, un programme géotechnique sera établi, comprenant les essais suivants :

- **ESSAIS IN SITU :**

- La réalisation d'un sondage carotté de 5ml de profondeur avec prélèvement des échantillons intact.
- Essai au pénétromètre dynamique au niveau de chaque ouvrage SPT.

- **ESSAIS DE LABORATOIRE :**

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS).
- Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates).
- Essais mécaniques (, Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai œdométriques).

Tableau N°VI.04 : Programme d'investigation de Lot ouvrage.

Localisation	Type	Essais in situ	Prof (m)	Essais au laboratoire
10+575	Ouvrage ferroviaire	SP1	12	- Teneur en eau. - Granulométrie. - Limite d'Atterberg. - Proctor modifié. - CBR imbibé. - Analyse chimique. - VBS. - Essais œdométriques. - Essais cisaillement rectiligne.
11+014	Passage supérieure N°01	SC1	14	
13+251	Passage supérieure N°02	SC2	12	
		SP2	12	
		PDL1	Refus	
		PU5	3	
15+954	Passage supérieure N°03	SC3	10.5	
19+080	Passage supérieure N°04	SC4	10	
		SP3	12	
20+360	Ouvrage ferroviaire	SC5	12	
		SP4	12	
23+075	Passage supérieure N°05	SC6	10.5	
		SP5	12	
24+575	Ouvrage ferroviaire	SC7	12	
		SP6	12	
26+722	Passage supérieure N°06	SC8	10	
		SP7	12	
		PU18	4	
		PDL2	Refus	
27+550	Ouvrage ferroviaire	SC9	12	
		SP8	12	

VI.2.1.3. RÉSULTATS ESSAIS AU LABORATOIRE :

Tous les échantillons prélevés à partir des puits reconnaissances et les sondages carottés réalisés ont fait l'objet des analyses en laboratoire conformément aux normes en vigueur, données dans les tableaux ci-dessous :

Tableau N°VI.05 :
Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance.

PU N°	Prof (m)	Granulométrie			VBS	Wn	Limites d'atterberg				Proctor modifié		CBR à 95%	GTR
		D_{max} (mm)	%< 2mm	%< 0.08mm			WL %	WP %	IP	IC	ρ OPM (t/m3)	W OPM %		
1	**3**	2	94	76	2.72	7.7	28	14	14	1.45	1.92	8.42	3.45	A2m
2	**3**	8	74	64	3.09	10.2	35	17	18	1.37	1.96	10.34	6.64	A2s
3	**3**	3	93	86	3.8	11.5	38	18	20	1.32	1.86	12.18	6.71	A2m
4	**3**	9	40	17	1.39	5.2	32	15	17	1.57	2.09	8.4	29.13	A1ts
5	**3**	9	37	18	3.38	3.9	31	16	15	1.80	2.08	8.46	31.57	A2ts
6	**4**	/	/	89	3.23	9.39	52	26	26	/	1.64	9.60	/	A3m
7	**4**	/	/	92	3.20	13.65	56	28	28	/	1.59	15.10	/	A3m
8	**3**	0.3	100	69	2.41	11.8	22	43	21	1.48	1.9	9.51	9.96	A1h
9	**3**	0.7	100	46	2.07	8.5	44	24	20	1.77	1.8	14.71	50.46	A1ts
10	**3**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
11	**3**	5	91	66	3.54	16.2	44	22	22	1.26	1.75	14.14	1.6	A2h
12	**3**	0.2	100	78	4.2	16.5	49	25	24	1.35	1.71	13.37	2.46	A2h
13	**3**	0.2	99	79	4.15	21.5	42	21	21	0.97	1.75	13.65	2.68	A2th
14	**3**	0.4	97	69	4.57	17.5	46	23	23	1.24	1.75	15.73	3.53	A2h
15	**3**	0.1	100	95	6.42	25.8	59	30	29	1.14	1.64	19.06	4.26	A3h
16	**3**	0.3	100	78	4.84	15.5	45	23	22	1.34	1.74	15.53	2.16	A2m
17	**3**	0.3	99	75	4.85	12.9	47	23	24	1.42	1.73	16.31	3.41	A2s
18	**4**	/	/	76	3.16	15.26	51	26	26	/	/	/	/	A3
19	**3**	0.5	100	49	2.05	9.1	33	17	16	1.49	1.85	11.91	11.46	A1s

Tableau N°VI.06 :
Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des sondages carottés.

SC N°	Prof (m)	Wn %	D (g/cm³)		Sr%	VBS	Limite d'Atterberg				Granulométrie			Rc (Bar)	Caillement UU		Œdomètre			GTR
			γ h	γd			% Wl	% Wp	Ip	Ic	%<2 mm	%<80um	2um		Φ(°)	Cu(bar)	Pc(bar)	Cc(%)	Cg(%)	
1	8.00-8.20	12.5	2.13	1.89	82.78	/	25.0	13.0	12.0	1.04	94.0	80.0	/	/	/	/	3.18	12.6	2.4	A2
	13.0-13.3	12.6	2.18	1.94	91.0	/	37.0	19.0	18.0	1.35	97.0	86.0	26	/	22	0.325	0.759	10.6	1.9	A2
2	5.90-6.20	16.4	2.12	1.82	94.5	2.75	38.0	19.0	19.0	1.14	92.0	81.0	22	/	14	0.422	3.15	11.3	2.0	A2
	8.00-8.30	16.3	1.85	1.63	68.8	/	35.0	18.0	17.0	1.09	78.0	60.0	/	/	17	0.159	ENR*			A2
3	2.60-2.90	12.3	/	/	/	/	47.0	24.0	23.0	1.5	100	94.0	30	/	ENR*					A2
	4.20-4.50	13.4	/	/	/	/	57.0	28.0	29.0	1.5	99.0	93.0	/	1.2	/	/	/	/	/	A3
	6.50-7.00	17.0	2.00	1.70	80.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15	0.102	1.87	19.5	4	
4	3.10-3.50	19.9	1.97	1.65	86.6	2.43	50.0	25.0	26.0	1.25	97.0	68.0	39	/	3	0.692	0.73	19.4	3.4	A3
	6.70-7.20	19.7	2.04	1.71	94.8	/	49.0	25.0	24.0	1.21	100	67.0	/	/	5	0.639	1.77	14.4	2.9	A2
	10.5-10.8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2.5	/	/	/	/	/	
5	3.65-3.90	/	/	/	/	4.31	/	/	/	/	/	/	/	0.96	/	/	/	/	/	
	6.60-6.90	21.8	1.97	1.62	90.5	/	51.0	26.0	26.0	1.12	100	84.0	46	/	15	0.625	1.26	16.0	3.1	A3
	8.70-9.00	16.3	2.11	1.81	93.5	/	28.0	14.0	14.0	0.83	100	71.0	/	/	22	0.107	1.33	09.0	1.3	A2
6	2.30-2.50	/	/	/	/	4.65	/	/	/	/	/	/	/	1.09	/	/	/	/	/	
	4.70-5.20	22.1	1.92	1.57	85.71	/	53	26	26	1.18	100	100	56	/	13	0.173	1.88	17.7	3	A3
	6.90-7.30	22.4	1.99	1.63	94.45	/	71	36	36	1.35	100	100	/	/	2	0.359	4.46	18.1	5.3	A3
7	2.25-2.50	/	/	/	/	3.86	/	/	/	/	100	89	44	23.16	/	/	/	/	/	
	6.60-7.00	23.3	2.01	1.63	99.14	/	70	35	36	1.29	100	100	/	/	4	0.59	2.38	17.7	4.6	A3
	7.50-8.00	17.6	2.12	1.8	99.04	/	37	19	18	1.07	/	/	/	/	17	0.105	1.6	12.9	2.8	A2
8	2.60-2.90	13.7	1.92	1.69	63.27	3.42	44	22	23	1.31	100	83	41	/	1	0.408	0.27	21.1	2.5	A2
	4.70-5.00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100	82	/	/	/	/	/	/	/	
	6.50-6.80	16.3	2	1.72	80.30	/	45	23	22	1.30	/	/	/	/	6	0.439	2.01	17.6	2.5	A2
9	1.50-2.00	19.9	1.74	2.09	100	/	52	26	26	/	/	97	/	/	11	0.41	1.39	17.65	5.73	A3
	4.80-5.00	19.0	1.74	2.07	96.02	/	56	29	27	/	/	86	/	/	/	/	/	/	/	A3
	8.00-8.50	20.4	1.74	2.10	100	/	53	26	27	/	/	90	/	/	16	0.32	/	/	/	A3

Tableau N°VI.07 :
Résumé des résultats des essais d'analyse chimique sur les différents les échantillons.

Pu /SC N°	Pr (m)	Insolubles (%)	Carbonates (%)	Sulfates (%)	Agressivité
PU1	1.0-3.0	57	38.4	Trace	/
PU2	1.0-3.0	48.1	47.8	Trace	/
PU3	1.0-3.0	56.4	39.0	Trace	/
PU4	0.3-3.0	29.9	67.4	Trace	/
PU5	0.3-3.0	32.9	64.2	Trace	/
PU6	/	/	/	/	/
PU7	/	/	/	/	/
PU8	1.0-3.0	47.4	25	14.35	A4
PU9	0.5-3.0	30.2	23.3	25.08	A4
PU10	/	/	/	/	/
PU11	/	/	/	/	/
PU12	/	/	/	/	/
PU13	1.0-3.0	64.7	33.8	Trace	/
PU14	0.2-3.0	51.8	28.9	10.53	A4
PU15	1.0-3.0	44.9	33.8	11.14	A4
PU16	0.2-3.0	57.6	29.7	6.5	A4
PU17	0.2-3.0	62.3	28.1	4.85	A4
PU18	/	/	/	/	/
PU19	0.2-3.0	61.3	37.1	Trace	/
SC1	8.0-8.2	57.4	39.84	Trace	/
	13-13.3	33	64.23	Trace	/
SC2	/	/	/	/	/
SC3	2.6-2.9	35.6	39.02	12.8	A4
	4.2-4.5	48.4	49.59	Trace	/
SC4	3.1-3.5	50.1	30.40	9.91	A4
	6.7-7.2	48.2	32	11.04	A4
SC5	3.65-9.0	53.7	29.6	6.6	A4
	6.6-9.0	53.3	31.2	7.63	A4
SC6	2.3-2.5	58.1	36.8	Trace	/
	4.7-5.2	57.9	37.6	Trace	/
SC7	6.6-7.0	53.3	38.93	Trace	/
SC8	2.6-2.9	56.7	35.88	Trace	/
SC9	/	/	/	/	/

Remarque :

La sélection de notre tracé diffère de celui déterminé par le bureau d'études, ce qui a un impact sur le programme géotechnique. Par conséquent, on va utiliser le programme du bureau d'études pour interpréter les résultats et dimensionner la couche d'assise.

- **INTERPRÉTATIONS ET OBSERVATIONS :**

Tableau N°VI.08 :
Interprétation des résultats du programme d'investigation géotechnique.

	Propriétés	Variation	Commentaires
Propriétés physiques et mécaniques	Indice de Plasticité	12 - 36	Le sol présente une plasticité allant de peu plastique à plastique, ce qui signifie qu'il a une certaine capacité à se déformer sans se rompre.
	Teneur en eau	3.9 – 25.8	Le sol est légèrement humide à humide, ce qui peut influencer sa compacité et sa cohésion. (Propriétés mécaniques)
	Densité optimale	1.59 – 2.09	Le sol montre une forte densité au compactage, ce qui peut indiquer une bonne capacité portante et une résistance accrue.
	Teneur en eau optimale	8.04 – 19.06	
	Valeurs au bleu de méthylène	1.39 – 6.42	Le sol est sensible à l'eau, ce qui signifie qu'il peut subir des changements de volume en réponse à l'humidité ce qui peut avoir un impact sur sa stabilité.
	Densités humides et sèches	1.85-2.18 et 1.57-2.10	Le sol varie de peu dense à très dense, ce qui peut affecter sa portance et sa résistance.
	Résistance à la compression simple	0.96 – 23.5	Le sol présente une plage de résistance allant de faible à élevée.
	Angle de frottement	1 – 22	Le sol présente une résistance au glissement relativement faible (angle de frottement faible)
	Cohésion	0.102 - 0.639	Une certaine résistance à la rupture ou à la déformation
	Essai œdométrique	Le sol est moyennement compressible à compressible et peu gonflant à gonflant. Cela signifie que le sol a une certaine capacité à se comprimer lorsqu'il est soumis à des charges et peut également subir des changements de volume en réponse à l'humidité.	
Analyse chimique	Carbonates	23.3 - 67.4	Le sol est modérément à fortement calcaire en raison de la présence de carbonates.
	Insolubles	29.9 - 64.7	Le sol a une forte teneur en insolubles, ce qui peut indiquer une richesse en matière organique non décomposée ou en sédiments non dissous.
	Sulfates	4.85 - 25.08	Le sol présente une teneur en sulfates, ce qui peut être considéré comme agressif (classe d'agressivité A4).

En résumé, le matériau semble avoir une résistance modérée à élever, une capacité de déformation sans rupture, une granularité spécifique et des propriétés mécaniques variables en fonction de la teneur en eau.

VI.2.2. UNITÉS GÉOTECHNIQUES :

Dans le cadre des sondages carottés, pressiométriques et puits de reconnaissance le long du tracé, trois unités lithologiques ont été identifiées. La caractérisation géotechnique de chaque unité a été réalisée en prenant en compte la nature et l'origine de la formation géologique, ainsi que les résultats des essais in situ et de laboratoire.

Unité 01 : Alluvions récentes ou actuelles :

Il s'agit de formations alluvionnaires composées de sables, de limons et de graviers arrondis et sub-arrondis, avec une matrice sablo-limoneuse parfois sablo-argileuse. Ces formations se présentent sous la forme de bandes étroites le long des oueds et des chaabat, et sont présentées entre le PK 9+000 et le PK 13+251.

Unité 02 : Argile marneuse plus au moins limoneuse

Il s'agit de formations quaternaires présentes tout le long du tracé, avec une profondeur pouvant atteindre jusqu'à 15 mètres. Cette unité est principalement composée d'argile marneuse à la consistance compacte. Elle est présente du PK 14+800 au PK 29+000. Dans certaines zones, cette formation peut contenir du gypse, notamment du PK 16+018 au PK 26+756.

Unité 03 : Tuf argileux à Argile tufacée :

Il s'agit de formations quaternaires principalement composées de sable et de gravier avec des concrétions carbonatées. Cette unité est généralement présente en surface de manière discontinue le long du tracé, du PK 14+890 au PK 19+120.

Les caractéristiques géotechniques de cette formation sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau N°VI.09 :
Les différentes caractéristiques géotechniques du sol traversé par le projet selon les unités géotechniques.

Unités lithologique (m)		Unité I	Unité II	Unité III
Poids volumique sec	γd (t/m3)	2.55	1.8	1.84
Poids volumique humide	γh (t/m3)	2.02	2.02	2.06
Teneur en eau	Wn (%)	18.77	16.13	12.73
Dégrée de saturation	Sr (%)	63.84	80.85	75.95
Granulométrie	< 2mm	72	98	100
	< 80µm	60.5	79.5	74
Limite d'atterberg	Wl (%)	46.5	51	28.5
	Wp (%)	23.5	25	14
	IP (%)	24	25	14
VBS	(%)	-	4.05	1.8
Compression simple	Rc (bars)	3.08	12.06	2.5
Compression à l'odomètre	Pc (bars)	2.58	2.36	-
	Cc	0.189	0.16	-
	Cg (%)	0.44	0.03	-
Cisaillement rectiligne	Cu (bars)	0.465	0.397	-
	φu (°)	13	12.5	-
Analyses chimiquessommaire	Insolubles (%)	70.8	42.5	36.5
	Carbonates (%)	39.03	47.6	60.4
	Sulfates (%)	Traces	6.9	Traces
Classes GTR		A2	A3	A2

VI.2.3. CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES :

VI.2.3.1. LES ZONES INONDABLES :

Le tronçon présentant des zones inondables se situe principalement entre F'KIRINA et M'TOUSSA, couvrant les PK 16+600 jusqu'au PK 24+625.

D'un point de vue géotechnique, il est essentiel de dimensionner les remblais dans les zones inondables de manière à garantir leur stabilité et leur durabilité. Ils doivent être protégés par des enrochements latéraux ou des perrés, avec l'ajout d'un dispositif anti-contaminant entre le corps du remblai et les enrochements. L'utilisation de géotextiles améliore la capacité des structures de support à résister à la contamination, tout en facilitant la mise en place des couches d'assise et en prévenant les orniérages des couches de forme composées de sol QS3.

Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m (**voir Annexe F**).

Tableau N°VII.10 : Valeur du niveau NPHE/TN.

Section Zone inondable	Niveau NPHE/TN
DU PK16+600 au PK24+625	0.60 m

VI.2.3.2. AGRESSIVITÉ DES SOLS :

La présence de sulfates détectés dans les échantillons extraits des sondages carottés et des puits de reconnaissance sur une partie importante du tracé indique la présence d'un sol agressif avec une variabilité des sulfates entre 4.85 et 25.08.

Par conséquent, il est nécessaire de prévoir l'utilisation d'un ciment spécial pour la fabrication du béton des fondations des ouvrages d'art projetés ainsi que des ouvrages hydrauliques, particulièrement dans les sections où le sol présente une agressivité significative.

Les échantillons sont classifiés dans la catégorie A4 (sol très fortement agressif**) (**voir **Tableau N°VI.07).** Dans ce contexte, il est essentiel de prendre les mesures nécessaires pour adapter la composition et la mise en œuvre du béton aux conditions environnementales, telles que le dosage en ciment, la catégorie de ciment, le rapport eau/ciment ainsi que l'utilisation d'adjuvants appropriés. L'utilisation du ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) sont à prévoir.

VI.2.3.3. RISQUE DE DISSOLUTION DES GYPSES :

En plus de risque d'agressivité chimique, la présence de gypse (généralement avec des taux de 1.65 à 25%) trouvé dans quelques puis de reconnaissances et des sondages carottés notamment au sein de la formation d'argile limoneuse, peut poser un autre problème géotechnique, car les eaux chargées en sels dissolvent très facilement le gypse en laissant de nombreuses cavités et vide dans le sous-sol, ce qui peut provoquer des affaissements et des tassements sur certains sous tronçons.

Localisation :

Logiquement, les sous tronçons à risque de dissolution des gypses seront inclus dans le précédent tronçon qui renferme un risque d'agressivité chimique lui-même contenu dans la zone inondable.

Tableau N°VI.11 : Localisation des zones à risque de dissolution des gypses.

PK		Longueur (ml)	% des gypses	PK de prélèvement	Lithologie
Début	Fin				
16+600	16+700	100	14	16+625	Argile limono-marneuse, gypsifère plus au moins tufacée en surface.
17+200	17+300	100	25	17+225	
19+100	19+200	100	10	19+122	
20+300	20+400	100	07	20+361	

Afin de protéger ces sols sensibles à l'eau et pour augmenter leurs résistances au cisaillement, il y a lieu de procéder à :

- Purge minimal sur 0.50 mètre de profondeur.

- La pose d'une géogrille ; pour augmenter la résistance au cisaillement sous la base du remblai.

VI.2.4. EMPRUNT ET DEPOT :

VI.2.4.1. IDENTIFICATION DES GITES À MATÉRIAUX :

Le gite d'emprunt qui a fait l'objet de prélèvements de matériaux pour le besoin de notre projet sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau N°VI.12 : Liste des gites d'emprunt et leurs fiches techniques.

N° du gite / PK	Commune / Wilaya	Distance au tracé (Km)	État	Accès	Matériau à explorer	Possible utilisation
Gite-01 PK 11+000	F'kirina / Oum El Bouaghi	À 900m de RN80 et 2km du tracé	Actuellement non exploité	Facile	Tuf	Remblai ou couche de forme
Gite-02 PK 12+000		À quelque mètre de tracé			Ballast	
Gite-03 PK 21+000						

VI.2.4.2. IDENTIFICATION DES ZONE DE DÉPÔT :

Pour le tronçon (PK 9+000-PK 20+400), une zone de dépôt a été identifiée à l'environ de PK 4+000 du projet. Cette zone non exploitée actuellement, s'étant sur une surface de 240 000 m2 avec une capacité de stockage qui peut atteindre les 960 000 m3. À moins de 1 km de distance de PK 4+000, l'accès est relativement facile via un chemin communal.

Pour le tronçon (PK 20+400 – PK 29+000), une zone de dépôt a été identifiée du PK30+000 au PK 34+000 du projet. Cette zone non exploitée actuellement, s'étant sur une surface de 400.000 m2 avec une capacité de stockage qui peut atteindre les 1 600 000 m3. La zone de dépôt est contiguë au tracé du projet.

CONCLUSION :

L’étude approfondie, nous a permis d’évaluer avec précision les caractéristiques géologiques du site, identifier les risques géotechniques potentiels et proposer des mesures d'atténuation appropriées. L'analyse des données géologiques a permis, aussi, de déterminer les formations géologiques présentes.

De plus, l'étude a mis en évidence des zones à risque géotechnique, telles que les zones d'inondation. Grâce à cette identification précoce, des mesures préventives et correctives ont été recommandées.

Il convient de souligner que l'étude géologique et géotechnique est un processus itératif et évolutif, qui nécessite une surveillance continue tout au long de la construction et de l'exploitation du projet ferroviaire.

Ces informations ont servi de base pour concevoir une infrastructure solide, durable et résiliente. Cela permettra d'offrir des services ferroviaires fiables et sécurisés, tout en préservant l'environnement naturel et en minimisant les impacts négatifs sur les communautés locales.

CHAPITRE VII :
ASSISE FERROVIAIRE

CHAPITRE VII. ASSISE FERROVIAIRE :

INTRODUCTION :

Lorsque l'on pense aux chemins de fer, on imagine souvent les trains qui les parcourent à grande vitesse, reliant des destinations lointaines. Cependant, derrière ces trajets impressionnants se trouve une infrastructure ferroviaire complexe, comprenant des voies solidement construites et sécurisées. Au cœur de cette infrastructure se trouve le corps d'assise ferroviaire, un élément essentiel assurant la stabilité et les performances du système ferroviaire dans son ensemble.

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

Nous commencerons, d'abord, par comprendre les rôles et les fonctions du corps d'assise ferroviaire. Nous découvrirons, ainsi, les différents types de matériaux utilisés dans la construction des corps d'assise et les facteurs à prendre en compte lors du choix des matériaux appropriés. Pour ensuite, plonger dans les méthodes de dimensionnement utilisées pour évaluer la capacité portante du corps d'assise et déterminer sa géométrie optimale. Nous aborderons, à ce moment-là, des aspects tels que la répartition des charges, la résistance à la déformation et la stabilité globale du système.

Aussi, tout au long de ce chapitre, nous mettrons en évidence les normes et les recommandations internationales en vigueur dans le domaine du dimensionnement de corps d'assise ferroviaire pour créer une infrastructure ferroviaire robuste et durable.

VII.1. LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :

Les couches d'assise contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée des points de vue de la rigidité, de la tenue du nivellement et du drainage. Elles comprennent la couche de ballast et la sous-couche.

Il est à noter que l'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

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

VII.1.1. LE BALLAST :

Le ballast est un granulat utilisé dans la construction des voies ferrées, présentant une caractéristique importante : chaque grain de ballast est entièrement concassé sur sa surface. Il est considéré comme faisant partie de la superstructure et possède une résistance élevée aux diverses forces exercées sur la voie.

Le ballast est composé de roche concassée, conformément aux exigences définies dans le référentiel technique de la SNTF et la norme NF P53-695. Ces exigences doivent être satisfaites pour assurer la qualité du ballast utilisé dans les voies ferrées. Pour cela il faut que :

- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50 mm) et respecte certaines limites mentionnées dans la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast.
- La résistance à la fragmentation Los-Angeles soit de : ≤ 19 %.
- La résistance à l'usure Micro Deval soit de : ≤ 6 %.
- La résistance à la compression (RC) soit de : ≥ 1200 kg/cm².
- La forme des granulats par leurs angularité et rugosité de ses surface garantissent une bonne cohésion de la masse, de plus le contact ballast/traverses doit pouvoir assurer une immobilisation de ces dernières.
- La propreté des matériaux soit garantie. En effet, ces derniers doivent être expurgés de toute matière impropre et La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6 mm ne doit pas excéder 0.5 %.

- **Les principales fonctions et rôles du ballast :**

Le ballast remplit plusieurs fonctions essentielles dans la construction des voies ferrées :

- Il assure une répartition uniforme des charges induites par les véhicules ferroviaires sur la plate-forme, permettant ainsi une transmission homogène de ces charges, tout en évitant toute déformation due à l'affaissement.
- En encastrant les traverses, il contribue à la stabilité de la superstructure de la voie.
- Grâce à sa granularité spécifique, il facilite le drainage et l'évacuation des eaux superficielles, prévenant ainsi les problèmes d'inondation.
- Le ballast agit comme un amortisseur de vibrations efficace grâce à sa propriété rhéologique, dissipant l'énergie des vibrations par frottement entre ses éléments. Garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Il limite la dilatation thermique à un niveau minimal.
- Il empêche la croissance des plantes sous la voie, évitant ainsi des problèmes potentiels.

Ces diverses fonctions du ballast sont cruciales pour assurer la performance, la sécurité et la durabilité des voies ferrées.

VII.1.2. SOUS COUCHE :

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

Elle comprend du haut vers le bas, une couche sous ballast en grave propre entièrement concassée (0 /31.5 mm) bien graduée, une couche de fondation dans le cas de mauvais sol exécutée en grave sableuse entièrement concassée puis enfin s'il y a lieu une couche anti contaminatrice complété par des feuilles de géotextile de séparation.

- **IMPORTANCE DE LA SOUS-COUCHE :**

La sous-couche joue un rôle crucial dans la construction des voies ferrées, avec plusieurs fonctions importantes :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises : La sous-couche contribue à améliorer la capacité portante de la voie en répartissant de manière efficace les charges induites par les véhicules ferroviaires sur la plateforme.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires : La sous-couche aide à atténuer les vibrations générées par les trains, améliorant ainsi le confort des circulations et contribuant à la sécurité du système ferroviaire.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast : En faisant office de séparateur, la sous-couche prévient la contamination du ballast par les matériaux de la plateforme, préservant ainsi la qualité et les performances du ballast.
- Protection contre l'érosion : La sous-couche agit comme une barrière protectrice contre l'érosion, réduisant les risques d'endommagement de la plateforme et maintenant la stabilité de la voie.
- Évacuation des eaux de pluie : La sous-couche facilite le drainage des eaux de pluie, permettant leur évacuation efficace et prévenant les problèmes d'inondation.

VII.1.3 LA GÉOTEXTILE :

Les géotextiles sont des types de géo-synthétiques perméables à l'eau et à l'air qui peuvent être utilisés pour des applications variées, notamment la séparation et la prévention de la contamination, le drainage filtrant et le renforcement des structures.

VII.1.4 LA PLATE-FORME :

La partie supérieure de l'ouvrage en terre qui soutient la sous-couche, appelée plateforme, est constituée soit de terres rapportées pour un remblai, soit du sol naturel pour un déblai.

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

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

Afin d'évaluer la qualité de la plateforme, il est nécessaire de réaliser les actions suivantes :

- Évaluer la qualité de chaque sol constituant la plateforme.
- Évaluer la qualité de la plateforme dans son ensemble : Cela implique de considérer la combinaison de la couche de forme et du sol sous-jacent.

L'évaluation de la qualité de la plateforme est indispensable. Elle permet de prendre des mesures appropriées, telles que la modification du sol, le renforcement du sol ou la mise en œuvre de techniques spécifiques, afin d'assurer une plateforme solide, fiable et durable.

VII.2. CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME :

Le sol de qualité dépend de la nature géotechnique et des conditions hydrogéologiques/hydrologiques locales.

La nature géotechnique est évaluée par l'identification géotechnique, tandis que les bonnes conditions hydrogéologiques/hydrologiques locales sont déterminées par plusieurs critères. Ces critères comprennent : la couche supérieure du sol située hors de toute nappe naturelle, l'absence

de percolations naturelles et le bon fonctionnement des dispositifs de drainage pour l'évacuation des eaux de pluie.

L'évaluation de ces paramètres permet de déterminer la qualité globale du sol, assurant ainsi des conditions favorables sur le plan géotechnique et hydrologique.

L'analyse de la fiche UIC 719 R nous permet de distinguer quatre classes de qualité de sols selon la classification des sols (identification géotechnique) (**voir ANNEXE D**)

Le tableau suivant donne la classification du sol **UIC**, pour tous les puits de reconnaissance réalisés :

Tableau N°VII.01 : Classification selon GTR / UIC.

Puits N°	PK	Classification GTR / UIC		
		Selon la nature	Selon l'état hydrique	UIC
01	**9+100**	A2	A2m	QS1
02	**10+500**	A2	A2s	QS1
03	**11+600**	A2	A2m	QS1
04	**12+800**	A1	A1ts	QS1
05	**13+267**	A2	A2ts	QS1
06	**14+100**	A3	A3m	QS1
07	**15+200**	A3	A3m	QS1
08	**16+625**	A1	A1h	QS1
09	**17+225**	A1	A1ts	QS1
10	**18+343**	/	/	
11	**21+300**	A2	A2h	QS1
12	**22+349**	A2	A2h	QS1
13	**23+701**	A2	A2th	QS1
14	**24+022**	A2	A2h	QS1
15	**24+617**	A3	A3h	QS1
16	**25+300**	A2	A2m	QS1
17	**26+400**	A2	A2s	QS1
18	**26+722**	A3	/	QS1
19	**28+206**	A1	A1s	QS1

VII.3. LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME :

Le choix du type de plate-forme est déterminé par la nature et l'état hydrique des sols constituant le couronnement des remblais ou les sols situés au niveau de la fondation de la plate-forme en excavation, ainsi que leur épaisseur.

Selon le code - UIC 719 R, p16 -, trois classes de qualité des sols sont définies : P1 (médiocre qualité), P2 (moyenne qualité) et P3 (bonne qualité).

Chaque classe correspond à une capacité de support spécifique. Les plateformes de médiocre qualité ont une capacité de support limitée, tandis que les plateformes de moyenne qualité offrent une capacité de support modérée. Les plateformes de bonne qualité sont composées de sols de haute qualité et peuvent supporter des charges importantes.

La classification des plateformes en fonction de ces types permet de choisir les sols appropriés et d'assurer une construction adaptée aux charges prévues.

Tableau N°VII.02 : La classe la portance de la plate-forme.

(Normes UIC 719 R p.16)

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

- **Plate-forme proposée :**

Considérant les éléments précédemment exposés, incluant la classification des qualités du sol selon la catégorie QS1 et les prescriptions fournies par les UIC, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type P3 (qualifiée de bonne plateforme) qui doit être dimensionnée en tenant compte des caractéristiques spécifiques du sol (QS3).

Les données issues des travaux sur le terrain confirment qu'en considérant une classe QS1 pour la qualité du sol, qui correspond à une bonne plateforme de classe P3, il est nécessaire, alors, d'ajouter une couche de forme dans la conception. Ces résultats démontrent que la mise en place d'une couche de forme est indispensable pour assurer la performance optimale de la plateforme dans le contexte spécifique de la classe QS1.

- **Couche de forme :**

En ce qui concerne l'exigence de disposer d'une plateforme de support de qualité de type P3, il a été décidé d'appliquer une couche de forme d'une épaisseur de 50 cm, utilisant un matériau de qualité de sol QS3, sur les zones caractérisées par des matériaux de qualité de sol QS1.

Cette décision a été prise en vue d'assurer les performances et la stabilité nécessaires à la plateforme, compte tenu des caractéristiques spécifiques du sol dans ces zones.

VII.4. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE :

Le dimensionnement de l'épaisseur mentionnée est réalisé en utilisant la formulation prescrite dans le code UIC 719 R, selon l'expression suivante, en prenant en compte les paramètres appropriés spécifiques à la section en cours d'étude.

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

Les valeurs et les caractéristiques de ces paramètres son détaillé en annexe selon le code UIC 719 R, p30.

Pour le présent projet, Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC 719 R).

Tableau N°VII.03 : Dimensionnement de la couche d'assise.

Paramètre	Valeur	**Critère de choix**
E	0,45	**Pour une plateforme P3**
A	-0.05	**Pour les lignes des groupes UIC 3**
B	0.13	**Traverse en béton avec L=2.245 m.**
C	0.00	**Pour une nouvelle ligne.**
D	0,12	**Pour une charge de 25 tonne/essieu.**
F	0.00	**La ligne à une vitesse ≤ 160 km/h et P3.**
G	0.00	**Sans géotextile en sol QS3.**
Épaisseur de e (m)	**0.65**	
Épaisseur adopte (m)	**0.65**	

Pour la couche de ballast on a :

- 35 cm pour une vitesse >200 km /h.
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 km/h et 200 km/h. **c'est notre càs.**
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 km/h et 120 km/h.
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 km/h et 80 km/h.

Tableau N°VII.04 : Structure de la voie.

Couches	**Épaisseur (cm)**	**Matériaux**
Ballast	30	GC (grave concassée) (25/50 mm)
Sous-ballast	20	Grave propre (0 /31.5 mm) bien graduée
Couche de fondation	15	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	50	GNT

CONCLUSION :

À travers ce chapitre, nous avons pu examiner l'importance de l'assise ferroviaire et son dimensionnement dans la construction de voies ferrées sûres et efficaces. Nous avons constaté, aussi, que le dimensionnement adéquat de l'assise est essentiel pour assurer la stabilité structurelle, la résistance aux charges et la durabilité des voies.

Il convient de noter que chaque projet ferroviaire est unique et peut nécessiter une approche spécifique en fonction des conditions locales et des contraintes particulières. À cet effet, nous avons consulté les normes et faire appel à des experts du domaine pour garantir un dimensionnement approprié de l'assise ferroviaire.

En fin, nous avons pu nourrir la conviction qu'une bonne compréhension des principes et des méthodes de dimensionnement de l'assise ferroviaire et l'attention constante qu'il faut accorder à la maintenance permettent de contribuer à la création et à la préservation d'un réseau ferroviaire sûr, durable et performant.

CHAPITRE VIII :
PROFIL EN TRAVERS

CHAPITRE VIII : PROFIL EN TRAVERS

INTRODUCTION :

Une fois le tracé en plan et le profil en long sont établis, on procède au développement du profil en travers. Cette étape est importante dans un projet ferroviaire car elle permet de déterminer la section type projetée pour le couloir, ainsi que les volumes des déblais et des remblais. Les travaux de terrassement sont réalisés pour matérialiser les profils transversaux et garantir la mise en place de la structure d'assise et du réseau d'assainissement.

Le profil en travers fournit une représentation détaillée des caractéristiques topographiques de la voie ferrée, facilitant ainsi les décisions relatives à la construction, la sécurité et l'efficacité de l'infrastructure. De plus, il intègre des considérations environnementales afin de réduire l'impact sur l'environnement.

VIII.1. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS :

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

- **Les éléments de superstructure :**
  - Le type de rail utilisé.
  - La valeur de l'écartement de la voie.
  - La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet : voie unique.
  - Le type de traverse utilisé.
  - La valeur de devers en courbe (maximum).
  - L'épaisseur de la couche de ballast.
- **Les éléments de l'infrastructure :**
  - Les épaisseurs et la nomination des chaque couche.
  - Les pentes transversales de chaque couche.
  - La pente latérale de la plate-forme.
- **Les éléments du talus :**
  - La pente de chaque talus.
  - Les ouvrages de consolidation Éventuels.
- **Les éléments d'assainissement :**
  - Le type et la dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des draines.

VIII.2. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE :

Le profil en travers type en pleine voie, du présent projet, correspondant à un profil pour voie **unique**, il présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai.

Le profil en travers présente une forme asymétrique, avec une largeur droite de 4,70 m et une largeur gauche de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie.

La superstructure est formée par des rails UIC-60 espacé de 1435 mm et des traverses bi-bloc, sur ballast dont son épaisseur minimale est de 0,30 m et sa pente latérale est de 2/3.

La plateforme et la couche de forme et sous-ballast de la voie sont formées en chapeau de chinois décentre pour le côté gauche (déjà préparée pour la possibilité de duplication de la voie) avec des inclinaisons transversales de 4%.

Les épaisseurs des couches sous-ballast et de couche de forme sont définies dans le **chapitre VII ASSISE FERROVIAIRE.**

Dans les zones de remblai et de déblais les talus ont été définis avec l'inclinaison de 2/3, avec la construction de fossés longitudinaux au pied de talus dimensions b = 0.6 m et h = 0.6 m.

Remarque :

- En cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.
- Un projet ferroviaire peut avoir plusieurs profils en travers types, comme c'est le cas pour mon projet :
  - Zone inondable : ajout du géotextile anti-contaminant au tour du noyau de remblai et des enrochements latéraux. (**Voir ANNEXE F et G)**
  - Zone qui présente un risque de dissolution des gypses : exécution d'une purge de 0,5m minimum et l'ajout d'une géogrille.

Les cubatures de terrassement font référence aux variations de volume des déblais et des remblais impliqués dans le projet, visant à obtenir une surface uniforme qui est également alignée avec la ligne de projet sous-jacente. Ces variations de volume sont déterminées en utilisant plusieurs éléments clés :

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

Pour notre projet, le calcul automatique des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel autopiste, les détails de calcul résumés dans les tableaux suivant :

Tableau N° VIII.01 : Les cubatures des terrassements.

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)	Volume noyau remblais (m^3)	Volume enrochement (m^3)
231 926.80	**481 377.80**	**109 019,70**	**52 965,00**

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

Nature	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m^3)	**42 902.2**	**33 277.2**	**26 633.4**	**99 150.6**

CONCLUSION :

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

CHAPITRE IX :

TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

CHAPITRE IX : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES.

INTRODUCTION :

Les terrassements et ouvrages constituent l'épine dorsale de tout projet ferroviaire ambitieux. Ils sont bien plus que de simples travaux de construction ; ils représentent les fondements solides sur lesquels repose l'ensemble du système ferroviaire. Ce chapitre se focalisera sur l'importance de ces éléments clés et explore les différentes phases, techniques et considérations nécessaires à la réalisation réussie de ces travaux. Nous analyserons également les facteurs géotechniques et environnementaux qui doivent être pris en compte lors de la réalisation des travaux de terrassement.

En ce qui concerne les ouvrages, nous examinerons leur intégration dans le réseau ferroviaire global. Les ponts, en particulier, jouent un rôle dans la traversée des obstacles naturels tels que les cours d'eau, les vallées ou les zones urbaines denses.

IX.1. LES TERRASSEMENTS :

Les travaux de terrassement font référence aux activités visant à altérer la topographie d'un terrain en vue de créer une plate-forme ferroviaire. Ces modifications du sol sont réalisées en effectuant des déblais et des remblais, parfois de grande hauteur.

Le **remblai** consiste à apporter des matériaux de remplacement afin d'élever le niveau du sol existant. Il s'agit d'une opération visant à combler les creux ou les dépressions du terrain.

En revanche, le **déblai** implique la réduction du niveau du sol en retirant des matériaux. Cette opération permet de diminuer les élévations ou les reliefs excessifs du terrain.

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

Il est important de noter que lorsque les hauteurs des déblais et des remblais dépassent un certain seuil, il existe un risque de rupture, généralement sous la forme d'un glissement de talus.

D'une manière générale les travaux de terrassement sont exécutés en trois phases :

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

IX.1.1. OUVRAGES EN TERRE :

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

IX.1.1.1. EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES DES OUVRAGES EN TERRE :

Pour garantir une intégration harmonieuse des ouvrages en terre dans leur environnement, des recommandations sur les exigences environnementales doivent être respectées :

- **Choix des matériaux :** particulièrement ceux placés à la surface, sont sélectionnés de manière à préserver la végétation locale (biodiversité). Il est important de prendre en compte l'impact sur l'écosystème environnant et de favoriser la compatibilité avec l'environnement naturel.

- **Impacts hydrogéologiques :** Il est nécessaire d'analyser les interactions entre l'ouvrage en terre et les eaux souterraines, afin de minimiser les effets néfastes sur les ressources en eau et les écosystèmes aquatiques.
- **Protection des sites archéologiques :** Avant la réalisation de l'ouvrage en terre, des études préliminaires doivent être effectuées pour identifier la présence de ruines archéologiques et mettre en place des mesures de préservation.

IX.1.1.2. CONDITIONS DE RÉALISATION DES REMBLAIS :

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

- Retirer la couche de terre végétale.
- Réaliser le remblai par couches d'épaisseur de 30 cm.
- Compacter chaque couche de remblai à l'aide de compacteurs appropriés.
- Utiliser le bon matériau de remblai.
- Prévoir une pente transversale minimale de 4% pour éviter la stagnation d'eau de pluie.
- Respecter les prescriptions géotechniques et les normes de terrassement.

IX.1.1.3. CONDITIONS D'EXCAVATION DE DÉBLAI :

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

- Évaluation du site pour détecter les dangers potentiels dont la présence de câbles électriques, canalisations souterraines, conduites de gaz, systèmes de drainage, ou tout autre élément qui nécessite une protection particulière.
- Planification détaillée de l'excavation et surveillance continue des conditions et des changements des facteur pouvant affecter la stabilité.
- Marquage clair de la zone d'excavation.
- Prévention des effondrements avec des dispositifs d'étaiement dont les parois de soutènement, les étais, les palplanches ou d'autres.
- Évacuation sécurisée des matériaux excavés avec les équipements appropriés pour le transport.
- Utilisation d'équipement de sécurité adéquat pour les travailleurs impliqués dans l'excavation.
- Ventilation appropriée dans les zones confinées. (Tunnel)

IX.1.2. LA STABILITÉ :

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

L'objectif est de minimiser les risques de glissement ou d'affaissement en démontrant la capacité de l'ouvrage à résister aux forces exercées sur lui.

IX.1.3. TASSEMENT :

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

- Protection des remblais en utilisant une couche de sol de meilleure qualité.
- Installation de drains verticaux.
- Élimination des sols compressibles du support si la profondeur est faible.

IX.1.4. PENTES ET TALUS :

Afin d'assurer la sécurité et la stabilité globale de la construction, des études géotechniques sont menées pour déterminer la pente optimale du talus. Cela dépend de plusieurs facteurs :

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

Les pentes de talus principalement utilisées et exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H), sont :

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

N.B. : dans notre projet on adopte une pente de 2/3 que ce soit pour remblai ou pour déblai. Nous rappelons aussi que la hauteur des talus, pour les deux cas, est de l'ordre de 1 jusqu'à moins de 7 mètres.

IX.1.5. COMPACTAGE :

Le compactage est essentiel pour garantir la qualité des ouvrages en terre. Les taux de compactage dépendent de la nature du sol, du type de compacteur utilisé et de l'humidité du sol. Il est nécessaire de prévoir l'épaisseur des couches et l'énergie de compactage requise. Des mesures spécifiques, telles que l'arrosage ou l'essorage du sol, peuvent être recommandées afin d'optimiser le processus de compactage.

En respectant ces paramètres et en appliquant les techniques appropriées, on assure un compactage adéquat (optimal), contribuant ainsi à la qualité et à la durabilité des ouvrages en terre.

IX.2. LES OUVRAGES :

Afin de concevoir un tracé optimal qui satisfait aux exigences techniques et économiques, tout en garantissant la traversée transversale de la future ligne ferroviaire et des diverses infrastructures existantes, y compris les cours d'eau, il est nécessaire d'incorporer les éléments suivants dans cette nouvelle ligne :

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

Il est essentiel que ces ouvrages soient dimensionnés conformément aux critères de sécurité et de confort des voyageurs imposés par les normes de (UIC) ainsi que par les normes européennes en vigueur.

IX.2.1. INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE :

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

- **Contraintes liées aux données naturelles :** Ces contraintes concernent des éléments tels que l'écoulement des eaux, la nature du sol, etc. Elles peuvent avoir une incidence sur le choix du type d'ouvrage afin de garantir la stabilité, la durabilité et la résistance de la structure face aux conditions naturelles spécifiques du site.

- **Contraintes techniques :** Elles incluent des aspects tels que la portée, le programme de charge, le gabarit, etc. Ces exigences techniques doivent être prises en compte pour assurer la fonctionnalité et la sécurité de l'ouvrage.

Cependant, certaines **contraintes dimensionnelles et fonctionnelles** sont particulièrement importantes lors du choix du type d'ouvrage. Il est essentiel de prendre en compte l'obstacle à franchir, le respect du gabarit, le tirant d'eau, l'adaptation architecturale à la région, ainsi que la protection des structures existantes.

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

IX.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET :

IX.2.2.1. RÉTABLISSEMENT ROUTIER :

Étant donné que la future ligne ferroviaire reliant Ain El Beida et Khenchela sera conçue pour une vitesse de 160 km/h, supérieure à 100 km/h, il est nécessaire d'éliminer les passages à niveau. Ainsi, pour assurer la continuité des pistes qui devront être supprimées et des routes qui seront intersectées par la ligne, il sera nécessaire d'opter pour des passages supérieurs ou inférieurs, dans la mesure où la topographie le permet. Ces ouvrages permettront de franchir les voies ferrées en toute sécurité et de garantir la continuité des infrastructures routières.

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

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage Projeté
Aménagement des piste	**11+014**	Passage supérieure N°01
Aménagement des piste	**13+251**	Passage supérieure N°02
Aménagement des piste	**15+954**	Passage supérieure N°03
CC	**19+080**	Passage supérieure N°04
RN80	**23+075**	Passage supérieure N°05
CC	**26+722**	Passage supérieure N°06

- **Piste à supprimer :**

Le tracé entre le PK 9+241 et le PK 28+875 est intersecté par un total de 31 pistes. Parmi celles-ci, trois pistes spécifiques (aux PK 11+014, PK 13+251 et PK 15+954) seront aménagées et remplacées par des passages supérieurs afin de permettre la continuité des voies de communication. Cependant, les autres pistes seront soit supprimées, soit leur tracé sera modifié pour s'adapter à la nouvelle configuration de la ligne ferroviaire. Cette approche vise à assurer une intégration harmonieuse de la ligne tout en minimisant les impacts sur les infrastructures existantes.

IX.2.2.2. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES :

Pour assurer la traversée des cours d'eau, plusieurs types d'ouvrages sont envisagés en fonction de l'importance du cours d'eau à franchir. Entre le PK 9+000 et PK 29+000, des ouvrages hydrauliques sont nécessaires, comme détaillé dans l'étude hydraulique (**CHAPITRE VI ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE**), incluant des buses et des dalots.

De plus, dans la zone inondable s'étendant du PK 16+600 au PK 24+625, il est crucial d'installer des buses d'équilibre environ tous les 1 km (plus ou moins) pour mieux gérer les écoulements d'eau pendant les périodes d'inondation.

En revanche, pour les écoulements d'eau à débit important, des ponts ferroviaires ont été prévus pour assurer une traversée sécurisée et efficace des cours d'eau.

Tableau N°IX.02 : Liste des ouvrages ferroviaires.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage Projeté	Longueur	PK début/fin
Oued Mekhalfa	10+575	Ouvrage ferroviaire	60.20 m	10+549 / 10+607
Oued Nini	20+360	Ouvrage ferroviaire	80.00 m	20+315 / 20+395
Oued El Memri	24+575	Ouvrage ferroviaire	61.80 m	24+544 / 24+606
Écoulement 25	27+550	Ouvrage ferroviaire	61.20 m	27+514 / 27+575

IX.2.2.3. PROTECTION DES CONDUITES DE GAZ :

La protection des conduites de gaz lorsqu'elles sont traversées par un tracé ferroviaire est une préoccupation essentielle pour assurer la sécurité des installations et prévenir les accidents potentiels.

Le tracée de la nouvelle ligne traverse des conduites de GAZ en 3 point :

Tableau N°IX.03 : Liste des conduites de GAZ et leur PK.

Obstacle à franchir	PK	État de sol
Conduites de GAZ	17+160	Remblai
Conduites de GAZ	19+058	Remblai
Conduites de GAZ	23+092	Remblai

Les protections physiques pour les conduites de gaz peuvent inclure les éléments suivants :

- Manchons de protection : des revêtements tubulaires en acier ou en béton.
- Gaines en acier.
- Revêtements protecteurs : Par exemple, l'application de revêtements en polyéthylène peut améliorer la résistance des conduites aux impacts et aux vibrations ferroviaires.
- Enveloppement en béton.
- Caisson en acier : une structure tubulaire en acier.
- Tunnels de protection.
- Enveloppement en matériaux composites : tels que la fibre de verre renforcée de résine.
- Protections anti-vibration : telles que les amortisseurs ou les supports spéciaux, installées entre le tracé ferroviaire et les conduites de gaz pour réduire les vibrations transmises.

Ces mesures de protection physique visent à minimiser les risques de dommages causés aux conduites de gaz pendant la construction et l'exploitation du tracé ferroviaire.

Chaque situation est unique, il est donc essentiel de travailler en étroite collaboration avec des experts en ingénierie et des gestionnaires du réseau de gaz pour évaluer les risques, déterminer les solutions appropriées et garantir la conformité aux réglementations et normes applicables.

IX.2.2.4. PROTECTION DES CONDUITES DE AEP :

Lorsqu'un tracé ferroviaire doit traverser une conduite d'eau potable, il est essentiel de mettre en place des mesures de protection adéquates pour prévenir tout dommage potentiel et garantir la continuité de l'alimentation en eau potable.

Le tracée de la nouvelle ligne traverse des conduites d'Adduction en Eau Potable (AEP) en 4 point :

Tableau N°IX.04 : Liste des conduite AEP et leur PK.

Obstacle à franchir	PK	État de sol
AEP	12+120	Remblai
AEP	22+808	Remblai
AEP	24+010	Remblai
AEP	26+553	Remblai

Les mesures de protection à prendre lors du remblai autour des conduites :

- Protéger physiquement les conduites d'eau potable en utilisant des matériaux appropriés tels que des gaines en acier ou en béton. Ces gaines servent de barrière protectrice contre les charges et les vibrations potentielles du remblai.

- Les matériaux de remblai (matériau sans pierre) doivent être compactés conformément aux prescriptions de voirie et aux règles de l'art pour garantir une stabilité adéquate du sol. Les moyens et méthodes de compactage doivent être adaptés, à proximité et au droit des canalisations, aux efforts que celles-ci et leurs joints peuvent supporter, afin éviter les tassements différentiels qui pourraient endommager les conduites. Si besoin, des moyens de compactage moins puissants doivent être employés en augmentant le nombre de passes.

CONCLUSION :

À l'issue de ce chapitre, nous retenons l'importance réservée aux opérations de terrassements et à la réalisation des ouvrages d'art car ils sont des éléments essentiels pour la réalisation réussie d'un projet ferroviaire. Ils nécessitent une approche rigoureuse dans les moindres détails et une collaboration étroite entre les différents acteurs.

En effet, le respect strict de ces phases clés ne peut qu'assurer un réseau ferroviaire sûr, fiable et efficace. En investissant dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art, nous contribuons à la création d'une infrastructure ferroviaire durable qui répond aux besoins de mobilité et de connectivité de notre société moderne.

CHAPITRE X :

CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

CHAPITRE X : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DE LA GARE

INTRODUCTION :

Une gare bien conçue est bien plus qu'un simple point de départ ou d'arrivée pour les voyageurs ; elle est un véritable carrefour où se rencontrent les différents modes de transport, des besoins des passagers en reliant des villes, des régions et des cultures. Elle doit offrir une expérience harmonieuse et agréable aux passagers tout en intégrant des éléments de durabilité, de fonctionnalité et d'esthétique.

Dans ce chapitre, nous entreprendrons une exploration approfondie des principaux aspects à prendre en compte lors de la conception d'une gare ferroviaire, en mettant l'accent sur la planification urbaine, les défis liés à l'accessibilité, les technologies modernes et les considérations environnementales ainsi qu'en conjuguant l'innovation et la fonctionnalité des gares pour façonner des hubs de transport essentiels pour notre société moderne.

X.1. TYPE DE GARE :

On distingue plusieurs types des gares :

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

X.2. ÉTUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE :

Le chargé de la conception de la gare a pour mission d'établir un plan de masse qui prend en compte les fonctions de toutes les installations fondamentales qui la compose en tenant compte de trois éléments clés lors de l'étude.

- **Catégories de la voie** jouent un rôle déterminant dans la définition des fonctions spécifiques de chaque voie de la gare et les éléments qui y sont associés.
- **Le trafic** revêt une importance primordiale dans l'évaluation de l'importance de la gare et ainsi que dans sa conception de manière appropriée ou le dimensionnement adéquat des installations et des espaces nécessaires pour répondre à la demande prévue.
- **L'emplacement** géographique de la gare influe directement sur le type de trafic attendu ainsi que les catégories de voies nécessaires. Par conséquent, l'emplacement doit être soigneusement étudié et pris en compte lors de la conception du plan de masse.

Ainsi, la prise en compte attentive de ces trois éléments est essentielle pour établir un plan de masse précis et adapté à la fonctionnalité et à la pertinence de la gare.

X.3 CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARE :

Les conditions de conception des gares sont définies par plusieurs aspects importants :

- L'étude du bâtiment voyageurs (B.V) doit être réalisée en coordination avec le plan d'urbanisme existant. Cela garantit une intégration harmonieuse de la gare dans son environnement urbain.
- Le plan de la gare doit être élaboré de manière à optimiser la prise en charge des besoins de transport des voyageurs et des marchandises. Cela implique la prise en compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes et des futurs plans d'urbanisme.
- Le terrain choisi pour la construction de la gare doit non seulement offrir un espace suffisant pour les installations, mais également tenir compte de la possibilité d'extensions futures de la ville. Cela garantit la pérennité et l'adaptabilité de la gare aux évolutions urbaines à long terme.

La prise en compte de ces conditions lors de la conception d'une gare peut répondre de manière optimale aux exigences du transport ferroviaire et s'intégrer de manière harmonieuse dans son environnement, en prenant en compte les aspects géographiques, les besoins de mobilité et les perspectives de développement urbain.

X.4 INSTALLATIONS D'UNE GARE A VOYAGEUR :

Les installations présentes dans une gare ferroviaire comprennent plusieurs constructions et structures qui varient en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare.

- **Le bâtiment de voyageurs :** c'est un espace dédié aux passagers, offrant des installations telles qu'une salle d'attente, un guichet de billetterie, un poste de sécurité et un kiosque, entre autres.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** c'est un espace de service réservé au personnel ferroviaire, destinés à diverses fonctions.
- **Quais :** c'est une bande parallèle à la voie ferrée, permettant aux voyageurs d'accéder aux trains en toute sécurité.
- **Abris de quais :** c'est une installation sur les quais afin de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles :** c'est construction permettant aux passagers de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

Ainsi, ces différentes installations contribuent à la fonctionnalité et à la sécurité des voyageurs au sein de la gare ferroviaire.

X.5. DETAILS SUR LA GARE F'KIRINA DU PROJET initial :

- La gare de F'kirina est conçue pour un trafic voyageur.
- Elle est Constituée de deux voies : Voie **A** et voie **B**.
- Voie **A,** dite principale, a comme fonction (Voie à quai, évitement, croisement), de même pour la voie **B**, mais elle est conçue comme voie de service.

- La gare est implantée entre le pk 19+008 et le pk 20+315 et croise un Chemin Communal de la commune F'KIRINA au PK 19+080.
- La longueur utile de la voie A et B sont 1076m.
- Le bâtiment voyageur est à deux niveau (R, R+1).
- Deux (2) quais de longueur de 225m.
- Le déplacement entre les 2 se fait par une passerelle.

X.6. NOUVELLE PROPOSITION POUR LA GARE F'KIRINA :

La future gare de F'kirina, située entre les points kilométriques PK 18+700 et PK 20+300 avec une longueur de 1600 mètres, est conçue comme une gare voyageurs intermédiaire avec une configuration de palier (0% de dénivelé). Le futur bâtiment de voyageurs sera localisé du PK19+420 au PK19+460. Du cote de CC F'KIRINA.



Figure N°X.01 : Zone d'implantation de la future gare de F'kirina.

La nouvelle gare proposée est une gare - voyageur - composée de :

V1 ➔ Voie principale.
V3 ➔ Voie de service et futur élargissement/dédoublement.
V2 et V5 ➔ Voie de service.
VT1, VT2, VT3 et VT4 ➔ Voie terroir.

X.6.1. JUSTIFICATION DE LA NOUVELLE PROPOSITION DE GARE :

L'étude des espaces et des territoires avoisinent le basin du projet et en tenant compte des grands projets structurants du pays, notamment à l'Est, qui auront un impact certain sur l'augmentation des trafics, à savoir :

- L'exploitation du projet stratégique de phosphate à Tébessa.
- Le développement des zones d'activités ou industrielle aux alentours de sebkha taref à l'image de la zone industrielle de Sidi Khetab – W. Relizane qui présente des caractéristiques presque similaires à la zone d'étude (sebkha asséché).
- Le besoin d'interconnexion avec le réseau national, notamment le grand projet ferroviaire Alger - Tamanrasset qui ouvrira la porte de l'Algérie vers l'Afrique.
- Le développement urbain et de l'activité économique engendrées par les projets cités plus haut.

À cet effet, la gestion du trafic prévisionnel voyageurs et marchandises impose un redimensionnement de la gare initialement validée dans l'APD du projet.

X.6.2. CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS DE LA GARES :

X.6.2.1. Quai :

- **La longueur de quai [1]:**

−Grande ligne 450 m. −Service régional 300 m.

- **La largeur des quais [1] :**

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

- **Hauteur des quais [1] :**

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

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

- **La distance à l'axe de la voie [2] :**

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à : **L (mm)=1650+S**.

$$S(mm) = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2} \qquad Avec \quad R: rayon\ de\ voie\ (m)\ ; \quad I = ecartement\ de\ voie\ (mm)$$

- **L'entraxe des quais :**

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

APPLICATION :

Notre gare est constituée de deux quais A et B.

Tableau N°X.01 : Les dimensions des Quais.

Quais	Pk début	Pk fin	Longueur	Largeur	Hauteur	Distance à l'axe	Entre-axe des quais	Entre-axe des voies
A	19+305	19+605	300 m	6 m	55 cm	1650 mm	14.80 m	4.50 m
B				8 m				

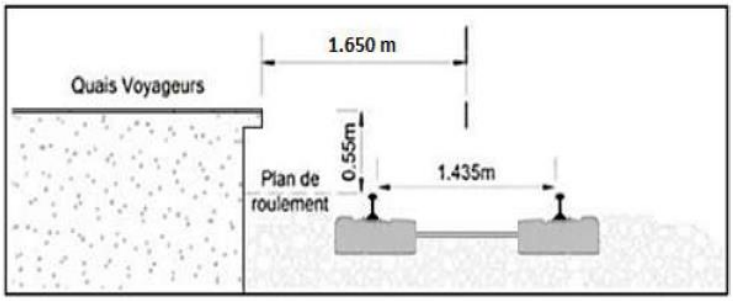


Figure N°X.02 : Gabarits – Quais Voyageurs.

[1] Selon SNTF
[2] Selon la norme UIC 741

X.6.2.2. HEURTOIR :

Il est positionné à l'extrémité des voies pour empêcher les véhicules en mouvement de poursuivre leur trajectoire au-delà de la voie.

Les heurtoirs sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les percutent, en utilisant des tampons spécifiques. Ainsi, en cas de collision, les heurtoirs permettent de ralentir et d'arrêter le véhicule en réduisant les dommages potentiels.

Leur présence assure la sécurité des installations ferroviaires en limitant les risques de déraillement ou de dépassement des limites prévues pour les véhicules en mouvement.

X.6.2.3. CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS DE LIAISON :

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne appareils de voie.

- **Les appareils de voie :**

Les appareils de voie jouent un rôle crucial dans la gestion des itinéraires ferroviaires, offrant la flexibilité nécessaire pour acheminer les trains sur les voies appropriées et faciliter les opérations de changement de direction. Un appareil de voie se compose généralement de trois parties : l'aiguillage, la partie intermédiaire et la partie cœur (croisement).

Les appareils de voie comprennent différents types, tels que :

- ✓ Les branchements simples.
- ✓ Les traversées.
- ✓ Les traversées jonctions simple (T.J.S) et jonctions double (T.J.D).

Les appareils de voie se distinguent par :

- ✓ Leur type : aiguillage simple, branchement double, (T.J.S), (T.J.D).
- ✓ Le type de rail. ✓ Le rayon. ✓ La tangente.
- ✓ Le type de lame. ✓ Le type de traverses. ✓ Le type de cœur de croisement

Pour la présente conception, il y aura :

- ✓ 6 (six) ADV **UIC 60 500 1/12** dont 3 (trois) déviations à gauche et 3 (trois) déviations à droite (ADV1-ADV2-ADV3-ADV8-ADV9-ADV10).
- ✓ 4 (quatre) ADV **UIC 60 190 1/9** dont 2 (deux) déviations à gauche et 2 (deux) déviations à droite (ADV4-ADV5-ADV6-ADV7).

- **Garage franc :**

La zone délimitée par le garage franc indique la portion de la voie réservée aux véhicules en stationnement. Il est positionné par rapport au cœur de l'appareil de voie, à une distance **GF**, afin d'assurer un positionnement adéquat de l'élément.

$$GF = 3{,}57 \times N + 1 \quad Avec\ N = \tan(\alpha)\ qui\ varie\ selon\ l'ouverturede\ l'ADV.$$

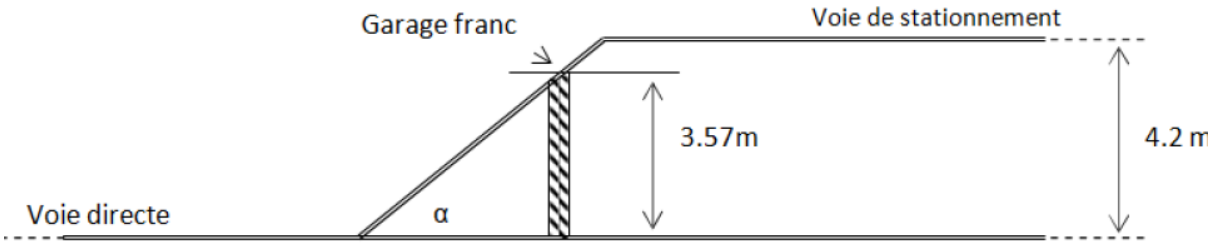


Figure N°X.03 : Schéma illustratif du garage franc.

Donc : Pour UIC 60 500 1/12 ➔ $GF = 3{,}57 \times 12 + 1 = 43{,}84m$

Pour UIC 60 190 1/9 ➔ $GF = 3{,}57 \times 9 + 1 = 33{,}13m$

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

Son objectif est d'assurer un espace suffisant pour le stationnement des trains sans perturber le trafic sur les voies principales ou les autres voies de dépassement à proximité. Elles garantissent ainsi un fonctionnement sûr et efficace des voies ferroviaires conformément aux normes établies par la SNTF. Cette mesure est définie comme la distance séparant deux garages francs.

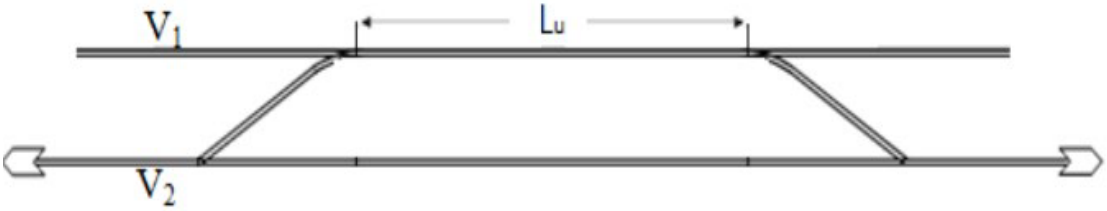


Figure N°XI.04 : Schéma illustratif de la longueur utile.

- Voie V1 est de 1600 m (voie principale).
- Voie V2 et V4 : Lu = 555 m.
- Voie V3 : Lu = 512 m.

X.6.2.4. MARGE DE GLISSEMENT À L'AVAL DES SIGNAUX :

La marge de glissement désigne la section de voie qui se trouve immédiatement après un signal fermé, où aucun autre train n'est autorisé à circuler.

Son objectif principal est de réduire au minimum les conséquences d'un accident potentiel. De plus, en cas d'interdiction d'occupation, cette zone de sécurité permet d'éviter une collision si un train n'a pas pu s'arrêter avant d'atteindre cette section.

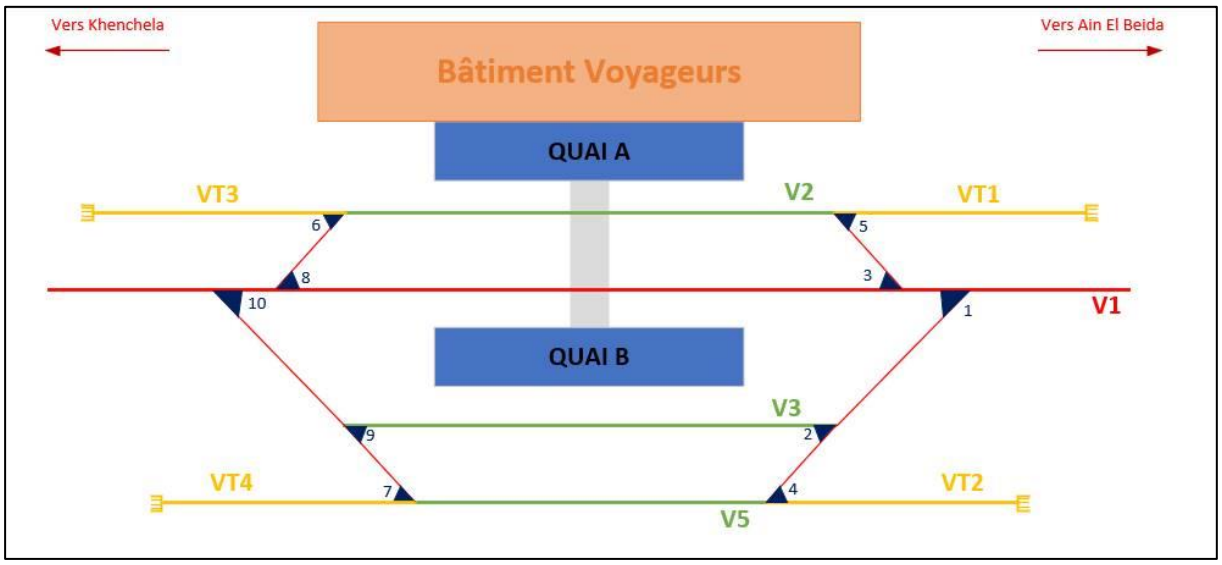
Selon UIC 741 La longueur de la marge de glissement pour notre projet avec une vitesse V≥ 60 km/h est alors de LG = 200m.

X.6.2.5. PASSAGE SOUTERRAIN :

L'exécution du passage souterrain de la gare de F'kirina par :

- Deux voiles et radier et la dalle avec l'épaisseur (50cm, 60cm, 60cm).
- Hauteur totale : 4.20 m.
- Largeur : 4 m.
- Longueur : 14.80 m.

Figure N°XI.05 : Schéma de la gare proposé.



X.7. ASSAINISSEMENT TRANSVERSALE :

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

X.8. 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.

Ce drainage sera formé par des fossés, des drains et de collecteurs qui conduiront les eaux aux passages hydrauliques ou directement aux lignes d'eau existantes.

X.9. PROFILE EN TRAVERS TYPE ET LE SCHÉMA DE LA GARE PROPOSÉ : VOIR PLANCHE.

CHAPITRE XI :

SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

INTRODUCTION :

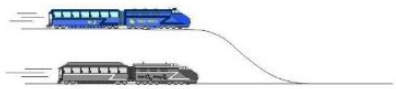
Depuis les premiers jours des chemins de fer, les systèmes de signalisation ont évolué pour devenir des systèmes complexes et sophistiqués, capables de gérer le trafic sur de vastes réseaux ferroviaires. Ces systèmes permettent de contrôler les mouvements des trains, d'éviter les collisions et d'assurer la coordination harmonieuse des différentes lignes et itinéraires.

Dans ce chapitre, nous explorerons les principes fondamentaux de la signalisation ferroviaire, où la sécurité et la fluidité se trouvent au cœur des préoccupations, en examinant les différents types de signaux utilisés et les systèmes de commande.

XI.1. OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE :

La signalisation ferroviaire joue un rôle essentiel dans la transmission des instructions aux conducteurs de trains afin d'assurer une circulation sécurisée. Les installations de signalisation sont spécifiquement conçues pour résoudre des problèmes et faire face à des risques majeurs décrits dans le tableau suivant :

Tableau N°XI.01 : Les risques ferroviaires.

RISQUE	DESCRIPTION	SOLUTION
Nez-à-nez 	Deux trains se retrouvant face à face sur la même voie.	La Prise en charge par les enclenchements de sens.
Rattrapage 	Un train suivant rattrapant celui qui le précède.	L'utilisation du système de cantonnement ➔ maintien de distances de sécurité entre les trains.
Prise en écharpe 	Un train arrivant sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.	L'équipement des postes d'aiguillage d'enclenchements internes (enclenchements d'itinéraires et de transit).
Déraillement 	Une ou plusieurs roues d'un véhicule quittant le rail sur une voie ferrée.	- L'application de limitations de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et les zones de travaux. - La Mise en place des systèmes de surveillance.
Obstacles 	Les Risques associés aux passages à niveau.	La gestion par des dispositifs d'annonce des trains ➔ alerte les conducteurs routiers de l'approche d'un train.

XI.2. LES SIGNAUX :

En Algérie, l'implantation des signaux ferroviaires se divise en deux catégories principales. Généralement, ces signaux sont positionnés à gauche de la voie où les trains y circulent, à moins que des contraintes spécifiques ne rendent cela possible.

- **Panneaux** comportant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants, sont regroupés sur un écran noir bordé de blanc, à l'exception de certains tunnels.
- **Tableaux lumineux** qui peuvent présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

La signalisation ferroviaire comprend divers types de signaux qui remplissent des rôles et des fonctions spécifiques, tels que :

- **La signalisation d'arrêt :** indique aux conducteurs de train de s'arrêter complètement avant de poursuivre leur trajet.
- **La signalisation de limitation de vitesse** : Informe les conducteurs de train de la vitesse maximale autorisée sur une section donnée des voies.
- **La signalisation de direction** : Guide les conducteurs de train en leur indiquant la voie à emprunter ou les changements de direction à effectuer.

Chacune de ces formes de signalisation est généralement composée d'une phase d'annonce initiale et d'une phase de rappel ou d'exécution ultérieure afin d'assurer une communication claire et une exécution précise des instructions aux conducteurs de train.

Il est important de noter que certains signaux lumineux sont éteints. Ils ne fournissent d'indication qu'à l'approche des trains, ou leur activation est conditionnée par certaines circonstances spécifiques.

XI.3. IMPLANTATION LONGITUDINALE :

L'implantation longitudinale des signaux ferroviaires est importante dans la prévention des arrêts devant un signal d'arrêt ou d'une limitation de vitesse dans une zone spécifique. Dans ce but, il est crucial d'avertir le mécanicien à une distance adéquate afin de permettre un freinage en toute sécurité dans des conditions normales. Cette fonction est remplie par les signaux d'annonce à distance.

À cet effet, deux distances clés sont prises en compte lors de l'implantation de ces signaux :

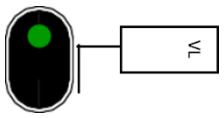
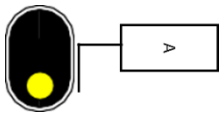
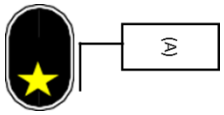
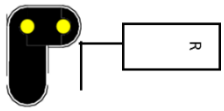
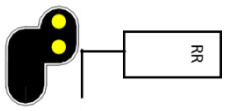
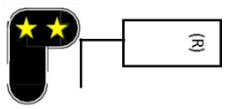
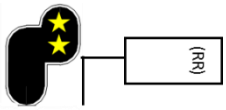
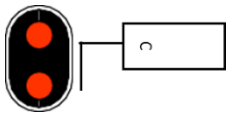
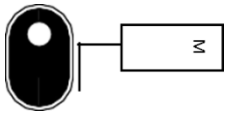
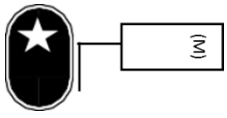
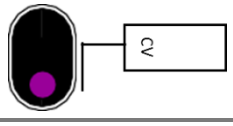
- **La distance d'arrêt :** Correspond à la distance, entre le signal d'arrêt et le point à protéger, requise pour arrêter le train en toute sécurité.
- **La distance de ralentissement :** Représente la distance nécessaire pour ralentir le train et respecter la limitation de vitesse dans la zone délimitée.

L'implantation de ces signaux à distance dépend de plusieurs facteurs, tels que le profil moyen de la voie concernée (la déclivité moyenne), la vitesse maximale à laquelle le signal à distance est abordé et les caractéristiques de freinage spécifiques des trains circulant sur cette section de voie.

XI.4. ASPECTS DES SIGNAUX :

Les aspects prévus pour la ligne Ain Beida – Khenchela et les indications nécessaires pour leur interprétation figurent dans le tableau suivant :

Tableau N°XI.02 : Les signaux utilisées dans le tronçon étudié.

Signal	Indication	Signalisation lumineuse
Signal ouvert Voie libre	La voie libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, franchissement à la vitesse admise.	
L'**avertissement Feux jaune**	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signauxsuivants : 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 ralentisseme nt 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/h pour franchir une aiguille	
Le rappel 30 fermé		
Le ralentisseme nt 60 km/h	Limiter la vitesse à 60km/h pour franchir une aiguille	
Le rappel 60 km/h		
Carré	Arrêt avant le signal.	
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de lamarche en manœuvre.	
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.	
Feu violet Carré Violet	Commande l'arrêt, il est installé surles voies de service, son ouverture seule.	

XI.5. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT : (signalisation classique)

Le terme **"canton"** désigne une section spécifique de voie ferrée, alimentée en énergie électrique, qui joue un rôle fondamental dans le système de régulation de l'espacement des trains, permettant ainsi d'éviter les collisions par l'arrière (risque de rattrapage et la prise en écharpe, voir **Tableau N°XI.01**).

Une voie ferrée est constituée de plusieurs cantons distincts, et chacun est protégé par un signal et isolé de manière indépendante par l'intermédiaire d'un joint isolant.

En principe, un seul train est autorisé à circuler dans un canton à la fois. Dans ce type de signalisation, aucune intervention humaine n'est nécessaire, car c'est le train lui-même qui assure sa propre protection. L'interaction entre les signaux des cantons consécutifs est représentée dans la figure ci-dessous :

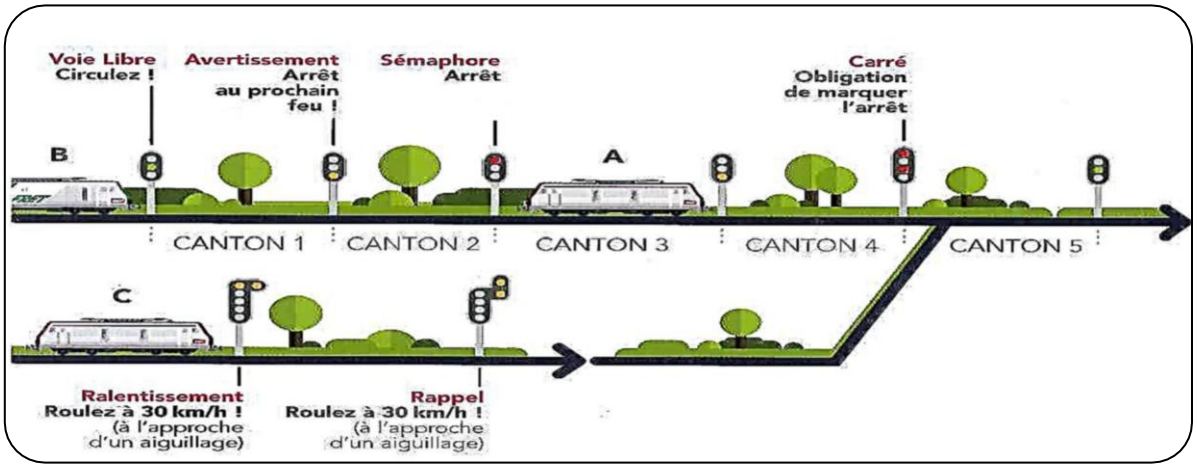


Figure N°XI.01 : Schéma illustratif du canton.

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés block, selon la catégorie de la ligne sont ci -dessous :

- **Le block manuel (B.M)** est utilisé sur des lignes à faible trafic, où l'exploitation est gérée manuellement. Il se caractérise par un nombre limité de signaux installés le long des voies et des installations de commande simples. Cependant, l'inconvénient majeur de ce block est sa capacité limitée à gérer un volume important de trains sur les lignes.

- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** est utilisé sur des lignes présentant un trafic moyen. Il s'agit d'un système automatique, mais avec des cantons relativement longs, s'étendant sur plusieurs kilomètres. Ce système offre l'avantage d'une sécurité accrue par rapport au B.M, car il réduit le risque d'erreur humaine. De plus, il reste économique car le nombre de signaux implantés reste limité. Cependant, en raison de son fonctionnement, il ne permet pas des débits élevés sur une ligne.

- **Le block automatique lumineux (B.A.L)** est utilisé principalement sur les lignes à fort trafic. Il se caractérise par l'utilisation de cantons courts, ce qui implique un nombre plus élevé de signaux, ce qui peut être plus coûteux. Cependant, il offre une grande souplesse dans la régulation des circulations ferroviaires. Grâce aux cantons courts, l'espacement entre les trains est réduit.

XI.6. LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS : (signalisation moderne)

Européen **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire, il est à trois niveaux. (Voir **Figure N°XII.02**)

Il s'agit d'un système de contrôle et de commande qui permet d'assurer un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Ce système vise à harmoniser et à faciliter les opérations de gestion du trafic ferroviaire, en garantissant une coordination efficace entre les différents acteurs et en favorisant l'interopérabilité des réseaux ferroviaires.

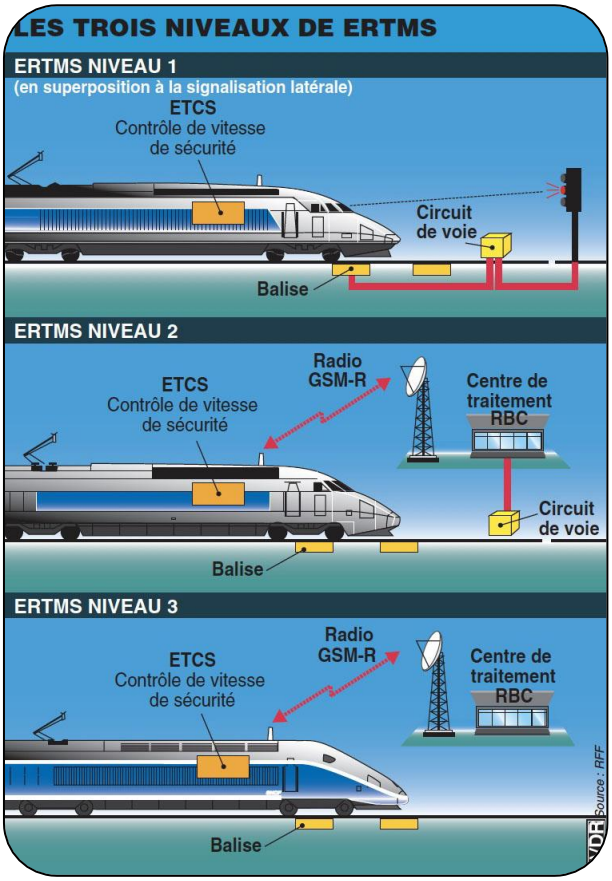


Figure N°XI.02 : le système de contrôle des trains ERTMS.

- **LES FONCTIONS D'ERTMS :**

ERTMS assure les fonctions suivantes :

- Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par la balise standard qui communique avec un autre système à bord de train.
- Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
- Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral
- (LEU) afin de transmettre par la balise jusqu'au train.
- Permet au train de transmettre via une antenne sa position et sa vitesse de façon continue à n'importe quel moment.
- Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les balises.

XI.7. APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

La ligne ferroviaire Ain El Beida - Khenchela est une nouvelle ligne à une vitesse de $160\ Km/h$ conçue pour désaturer le réseau existant et permettre la circulation d'un plus grand nombre de passagers, ainsi que pour augmenter les capacités de circulation de manière extrêmement sûre et précise. Pour atteindre ces objectifs, une approche combinée a été adoptée, en utilisant à la fois la signalisation latérale établie par le système BAL (Block Automatique Lumineux) et la signalisation en cabine établie par le système ERTMS (European Rail Traffic Management System).

En combinant ces deux systèmes compatibles, les informations relatives à l'accélération, au ralentissement et à l'arrêt des trains sont transmises de manière continue et directe au conducteur de train. Cela lui permet d'ajuster sa conduite en temps réel, ce qui permet de rouler à des vitesses plus élevées et de maintenir des distances plus courtes entre les trains. En conséquence, un plus grand nombre de trains peut être acheminé chaque heure et le trafic peut être régulé de manière plus fluide.

CONCLUSION :

Nous retenons dans ce chapitre que la signalisation ferroviaire est cruciale pour la sécurité et d'efficacité dans le domaine des chemins de fer. Nous avons pu étudier les différents aspects de la signalisation, allant des signaux visuels aux systèmes de contrôle automatisés. Le travail a abouti sur le fait qu'une communication claire entre les conducteurs de train et les signaux, ainsi qu'un respect rigoureux des indications fournies, sont des éléments fondamentaux pour réduire les risques d'accidents et favorise la fluidité du trafic.

Cependant, il est primordial de continuer à améliorer les systèmes de signalisation et les adapter aux évolutions du trafic et répondre ainsi aux besoins croissants de notre société.

CHAPITRE XII :

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XII : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

INTRODUCTION :

L'étude d'impact permet d'évaluer les conséquences potentielles du projet sur l'environnement naturel et humain, en tenant compte des spécificités propres à l'infrastructure ferroviaire. Elle représente, aussi, un appui fort dans la prise de décisions, en identifiant les risques et les mesures d'atténuation nécessaires pour minimiser les impacts négatifs et promouvoir un développement durable du projet.

En outre, l'étude d'impact favorise la transparence et la participation publique. Elle offre l'opportunité aux parties prenantes et au public d'exprimer leurs préoccupations et d'influencer le processus décisionnel. Cela permet de garantir une prise en compte adéquate des intérêts des communautés locales et de favoriser le développement d'un projet acceptable socialement.

L'engagement de l'Algérie dans la protection et la préservation de l'environnement a été confirmé par la ratification des conventions internationales et la traduction de ces dernières par des lois et des décrets d'application en la matière. Parmi les textes législatif et réglementaire auxquels les projets ferroviaires doivent se conformer, dont le présent projet, on peut citer :

- Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.
- Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Décret n° 87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire.
- Décret exécutif n° 12-235 du 3 Rajab 1433 correspondant au 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
- Le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990, relatif aux études d'impact sur l'environnement.

XII.1. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

XII.1.1. APERÇU GÉNÉRAL :

Elle se situe dans la zone des hauts plateaux constantinois au centre des wilayas de l'Est Algérien entre la ligne de latitude 36° 10'.03 au Nord et 35° 24'.34 au sud et entre les lignes de longitude 06° 10'.45 à l'Ouest et 07° 55'.56 à l'Est du méridien de Greenwich.

De par sa position géographique, la zone est limitée par huit (8) Wilayas, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et Sociale. Elle constitue également un trait d'union non moins appréciable entre le Nord/ Est et le Sud du pays.

XII.1.2. SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

La zone d'étude du présent projet traverse l'îlot boisé en direction Ouest vers l'agglomération de F'kirina et reste parallèle à la RN80 jusqu'à la commune de M'toussa sur un linéaire de 20 Km de PK 09+000 au PK 29+000.

XII.2. DESCRIPTION DE L'ÉTAT INITIAL DE LA ZONE D'ÉTUDE :

XII.2.1. MILIEU PHYSIQUE :

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

Tableau N°XII.01 : Description du milieu physique de la région.

	Partie N1	Partie 2
Wilaya traversée	Oum El Bouaghi	Oum El Bouaghi et Khenchela.
Commune traversée	F'kirina et Oued Nini	F'kirina M'toussa
PK	PK 9+000 au PK 23+946	PK 23+946 au PK 29+000
Longueur du Tronçon	Environ 14,946 Km	Environ 5,054 Km
Voisinage immédiat de la ligne	Agglomération de F'kirina (environ moins de 30 m), zones éparses, fermes agricoles.	Zone humide de Garaet Et Tarf (environ 3 km), l'agglomération de M'toussa (environ 700 m) et des fermes (à partir de 50 m).
Terrains traversés / occupation du sol	Terrains agricoles,zone de parcours	
Géomorphologie / topographie	Plaine, à pente faible. Les altitudes du terrain varient d'environ 920 m au début du tronçon à environ 860 m aux abords de l'agglomération de F'kirina.	Plaine, à pente et dénivellation très faible. Altitude moyenne d'environ 850 m
Géologie et sismicité	La géologie du terrain varie tel qu'expliquée dans le chapitre VI.	
Climatologie	Domaine dusemi-aride	
Hydrologie	Un réseau hydrographiqueassez dense. Les cours d'eau se jettent dans la zone humide de Garaet Et Tarf dont seulement le ¼ est constituée eau. Les eaux du chott sont évacuées uniquement parévaporation. C'est un espaceprotégé par la convention RAMSAR.	
Hydrogéologie	Présence de nappes souterraines sans toutefoisconnaitre les potentialités réelles.	
Risques naturels	Risques de crue, d'inondation et de marécage	

XII.2.2. MILIEU HUMAIN :

Tableau N°XII.02 : Description du milieu humain de la région.

	Partie N1	Partie 2
Wilaya traversée	Oum El Bouaghi	Oum El Bouaghi et Khenchela.
Commune traversée	F'kirina et Oued Nini	F'kirina M'toussa
PK	PK 9+000 au PK 23+946	PK 23+946 au PK 29+000
Population	Une population de 24 019 habitants sur une superficie de 444 km². La densité de population des deux communes est donc d'environ 54 habitants par km².	
Activité économique	- L'activité principale est l'agriculture, dont essentiellement la culture du blé dur, blé tendre et d'orge ; elle cultive également d'autre espèces (Céréales, Maraichage, Fourrage et Arboriculture fruitière). - l'élevage des ovins, bovins et caprins. - Il existe une zone d'activité et de stockage industrielle	
Profil socio-économique	En raison de la présence de la RN° 80, qui agit à titre d'axe interrégional, la région est l'une des portes principales de liaison entre le nord du pays et le sud, un lieu d'escales qui permet le développement des activités commerciales de la région.	
Voie de communicationou transport croisée	Le tracé parallèle à la RN80 puis la croise au niveau du PK 23+075 à rétablir par un ouvrage d'art. Il coupe également à plusieurs reprises des routes (CC) et pistes dont les plus importantes seront rétablies par des ouvrages d'arts, notamment au niveau du : -PK 11+014. -PK 13+251. -PK 15+954. -PK 19+080.	Le tracé parallèle à la RN80 et traversé par des routes et pistes. Le tracé coupe un chemin communal au PK 26+722 à rétablir par un ouvrage d'art.
Ligne électrique croisée	Le tracé croise des lignes moyennes tension à plusieurs reprises notamment au niveau du : -PK 14+334. -PK 15+210. -PK 15+966. -PK 16+497. -PK 19+175. -PK 21+996. -PK 22+667. -PK 23+261 -PK 23+435.	Le tracé croise : - Une ligne haute tension au PK 25+238. - Des lignes moyenne tension au PK 26+120, PK 27+583 et PK 28+120.
Conduite de gaz croisée	Le tracé croise trois (3) gazoducs PK17+160, PK19+058, PK23+092	
Conduite d'eau croisée	Le tracé croise des conduites d'eau au PK 12+120 et PK 22+808.	Le tracé croise des conduites d'eau au PK 24+010 et PK 26+553.
Franchissement des Oueds	Le tracé croise deux (2) Oueds où des ponts rail sont prévus : - Oued Mekhalfa au PK 10+575. - Oued Nini au PK 20+360.	Le tracé croise deux (2) Oueds où des ponts rail sont prévus : - Oued El Memri au PK 24+575. - Écoulement 12 au PK 27+550.
Ouvrages hydrauliques	Quatre (4) buses et deux (2) dalots sont implantés.	Deux (2) buses et un (1) dalot sont implantés.
Gare	Gare intermédiaire de F'kirina au niveau du PK 19+575.	

XII.2.3. MILIEU BIOLOGIQUE :

Tableau N°XII.03 : Description du milieu biologique de la région.

	Partie N1	Partie 2
Wilaya traversée	Oum El Bouaghi	Oum El Bouaghi et Khenchela.
Commune traversée	F'kirina et Oued Nini	F'kirina M'toussa
PK	PK 9+000 au PK 23+946	PK 23+946 au PK 29+000
Faune	La région des Aurès dénombre une forte population d'espèces aviaires mais également des mammifères (lièvres, chacals, renards, rats), des amphibiens, des invertébrées etdes reptiles.	
		La zone humide compte essentiellement des espèces aviaires aquatiques
Flore	Les espaces forestiers sont répartis au niveau des hauteurs vers l'Est de la commune, composés essentiellement de Pins dont certains ont été reboisés. Notons la présence d'espèces steppiques au niveau des cours d'eau et d'une zone boisée à moins d'1 km du tracé.	La végétation retrouvée sur le site est présente au niveau des cours d'eau et du chott de la zone humide. Elle est composée d'espèces steppiques pour les cours d'eau et d'espèces floristiques halophiles telles que la Salicornia arabica, Artemisia herba Alba, Suaeda fructicosa et Atriplex halimus pour le chott.

XII.3. LES IMPACTS POSITIFS :

La réalisation de cette nouvelle ligne, emmènera à la région un développement sur le plan sécuritaire, économique, et touristique.

Les retombées de cette voie sont :

- Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya.
- Une réponse aux besoins de confort, et de la sécurité dans le déplacement.
- 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.
- Optimiser l'utilisation du transport ferroviaire et contribuer à réduire le trafic routier et à diminuer le temps de parcours.

XII.4. IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS NÉGATIFS PRÉVISIBLES AVEC LES MESURES D'ATTÉNUATION :

Le tableau suivant résume les impacts négatifs prévisibles avec une évaluation de l'importance des effets ainsi que les mesures d'atténuation à prendre.

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

Item	Impact	Mesures d'atténuation
Atmosphère	• L'envol de poussières et leurs propagations. • La présence d'éléments polluants (CO, CO^2, Nox) favorise le réchauffement climatique.	• Humidifier les voies d'accès des chantiers pour diminuer les poussières soulevées par les camions. • Bâcher les camions transportant des matériaux poussiéreux. • Éloigner les sources de poussières des zones sensibles telles que la zone humide. • Pour réduire la pollution par les poussières, les cours d'eaux peuvent être protégées pendant la phase de construction des ponts par des films plastiques ou par des géo membranes. • La bonne gestion des déchets, les rejets liquides et les eaux usées. • Éviter l'utilisation des produits chimique nocifs aux voisinages des sites sensibles.
Eau (superficielle et souterraine)	• Impact lié aux émissions atmosphériques : l'accumulation des poussières et la migration de polluants dans les ruisseaux et les cours d'eau altèrent la qualité des eaux superficielles et souterraines (par infiltration). • Impact lié aux déchets et rejets liquides : Les écoulements superficiels et souterrains sont rapidement altérées par les polluants provenant des déchets et les fluides hydrauliques présents dans les rejets liquides à cause de la mauvaise gestion. • Les produits désherbants peuvent s'infiltrés dans les nappes.	
Sols	• Tassements causés par la compaction des sols. • Remaniement des sols due aux remblais / déblais. • L'infiltration de matières polluantes issues des déchets et des rejets liquides. • Les produits désherbant et les produits chimiques d'entretient peuvent s'accumulés dans les sols.	
Faune	• Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques. • Risque de perturbation liée au bruit et à la vibration.	• La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques. • Impact de vibration sera modéré dans le temps. • Création des passages a Faune : possibilité d'utilisation des ponts routiers (les rétablissements des pistes) car le trafic est trop faible. • Mise en place de clôture le long des voies pour éviter toutes collisions avec les animaux terrestres. • Éviter la période hivernale pour ne pas perturber les oiseaux migrateurs.

Tableau N°XII.04 : Identification des impacts négatifs avec les mesures d'atténuation (Suite).

Item	Impact	Mesures d'atténuation
Flore	• Les déboisements. • Une diminution locale de populations végétales par perte d'une partie de leur habitat (zone de dépôt des matériaux, circulation des engins en phase de construction).	• Déboisement limité au strict nécessaire. • Re-végétalisation et transplantations d'espèces végétales. • Interdiction des zones de dépôts, d'emprunts et des installations de chantier sur l'ensemble des zones sensibles (zones humides, zones protégées, etc.)
Milieux humain	• Les impacts sur l'atmosphère, l'eau, et sols peuvent altérés la santé de la population. • Les nuisances atmosphériques émises par les locomotives diésel sont nocives pour la santé humaine. (Impact faible dépend de l'emplacement de la ligne et la fréquence d'utilisation des locomotives). • Perturbation de la vie économique et la circulation routière. • Nuisances sonores.	• Le brûlage des déchets est strictement interdit. • Envisager la possibilité de réduire la vitesse des locomotives diésel à proximité de la zone d'habitation. • Mise en place de murs anti-bruit dans les zones habitées (les déblais issus des travaux seront utilisés comme écran antibruit) • Éviter les points à fortes densité économiques, mettre en place un plan de gestion de la circulation avec les autorités locales
Milieux agricoles	• La segmentation des parcelles agricoles (Ces terrains peuvent être incultivables ou peu rentables). • La baisse de productivité des cultures. • Une plus grande surface à parcourir pour les agriculteurs notamment pour rejoindre leur parcelle	• Tenir informés les agriculteurs sur les perturbations afin qu'ils prennent leurs dispositions. • Concertation des agriculteurs et Mise en place de passages pour les activités agricoles
Spécifique à la ligne ferroviaire	• Le problème principal du projet c'est le risque accru d'inondation que connait régulièrement la région. • La présence de la ligne ferroviaire fait obstacle aux écoulements préférentiels et de ce fait, modifient le système hydrologique de la région. Cette perturbation risque d'accroitre le débit des crues et de les rendre plus destructrices. • Elle risque d'intensifier l'érosion des berges, les mouvements de terrains et d'endommager les infrastructures existantes, causé des pertes humaines, changer le paysage naturel, etc.	• Prendre en considération le comportement des cours d'eau en crue. • Prendre en considération le drainage et l'évacuation des eaux de pluies, • Veiller à préserver la zone humide de toute détérioration lorsqu'il est possible de le faire ou à remettre le site en l'état. • La plantation et l'entretient de bandes enherbées au niveau des cours d'eau maintien et stabilise les berges, favorise l'infiltration, réduit l'érosion. Ceci reste un bon moyen de protéger la voie de tous mouvements de terrain ou d'érosion.

N.B : Les polluants atmosphériques tels que CO, CO2 et NOx sont négligeables surtout à proximités des espaces urbanisés où il existe déjà un trafic routier important responsable de la pollution de l'air. De plus, les engins et les camions ont un temps de séjour limité sur chantier puisque les travaux vont de Ain Beida vers Khenchela. Leurs émissions sont donc rapidement dispersées dans l'air.

- **Commentaire :**

Le projet présente un grand intérêt socio-économique pour la région. La création d'emploi, le développement urbain et les échanges commerciaux offre à la population plus d'opportunités professionnelles.

L'utilisation du train comme moyen de transport permettra de réduire le trafic automobile entre Ain Beida et Khenchela ce qui entraînerait une diminution de la pollution de l'air et l'abaissement de la consommation en combustible.

D'un point de vue écologique, la construction et l'exploitation de la ligne Ain Beida – Khenchela n'a pas d'effet dommageable sur l'environnement à condition d'appliquer les mesures envisagées concernant la préservation de la biodiversité, la zone humide et les risques liés aux crues et inondations.

Le fait d'avoir intégré l'aspect environnement dès l'étude préliminaire, a permis d'anticiper les contraintes environnementales et de mieux apprécier la faisabilité du projet.

Notons que le manque d'informations sur la phase réalisation pousse à rester toujours vigilant sur l'impact du projet sur l'environnement.

CONCLUSION :

Les principaux impacts dus à l'implantation d'une nouvelle ligne ferroviaire sont liés à l'effet de consommation de terrains et à l'effet de coupure induits par le projet.

Comme nous l'avons précisé, il existe un cadre réglementaire qui permet de solliciter la mise en œuvre de mesures de suppression, de réduction ou de compensations des impacts.

Les solutions techniques correspondantes, destinées à insérer de la meilleure manière possible le projet dans son environnement existent et ont déjà montré leur efficacité sur des grands projets ferroviaires.

En conséquence, une concertation constructive entre les parties prenantes (maître d'ouvrage, élus, associations, riverains, agriculteurs, bureaux d'études, etc.) est indispensable pour permettre l'implantation d'une nouvelle ligne au mieux des intérêts de chacun et tirer le maximum d'avantages d'une telle opportunité.

CHAPITRE XIII :

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XIII N°01 : Devis Quantitatif et Estimatif.

Lot.N°	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1. ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Études d'exécution.	F			161 532 445,85
1-2	Installation générale de chantier.	F			388 146 705,37
				PRIX TOTAL :	549 679 151,23 DA
2. TERRASSEMENT :					
2-1	Décapage de terre végétale.	M^3	219,00	129 623,40	28 387 524,60
2-2	Déblais mise en dépôt	M3	400,00	231 926,80	92 770 720,00
2-3	Remblai d'apport.	M^3	690,00	481 377,80	332 150 682,00
2-4	F/P materieu de zone inondable	M3	4 200,00	161 984,70	680 335 740,00
2-5	F/P geotextil	M3	1 700,00	2 684,90	4 564 330,00
2-6	Évacuation des terres en excès.	M^3	350,00	361 550,20	126 542 570,00
				PRIX TOTAL :	1 264 751 566,60 DA
3. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT :					
3-1	Buses de tuyaux en béton arme diamètre 1500 mm.	Ml	156 800,00	114,00	17 875 200,00
3-2	Fossé en béton arme.	Ml	11 400,00	25 567,00	291 463 800,00
3-3	F/p dalot en béton armée 2 x (3,50x2,00).	M^3	44 500,00	129,92	5 781 440,00
3-4	F/p dalot en béton armée (3,50x2,00).	M^3	44 500,00	67,20	2 990 400,00
3-5	F/p dalot en béton armée (2,50x2,00).	M^3	44 500,00	80,48	3 581 360,00
				PRIX TOTAL :	321 692 200,00 DA
4. COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :					
4-1	F/p couche de forme.	M^3	600,00	99 150,60	59 490 360,00
4-2	F/p couche de fondation.	M^3	1 859,00	26 633,40	49 511 490,60
4-3	F/p couche de sous ballast.	M^3	2 231,00	33 277,20	74 241 433,20
4-4	F/p couche de ballast.	M^3	3 080,00	42 902,20	132 138 776,00
				PRIX TOTAL :	315 382 059,80 DA
5. TRAVAUX DE LA VOIE SUR LE PARCOURS :					
5-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m).	T	121 250,00	2 413,60	292 649 000,00
5-2	Fourniture des traverses bi-bloc.	U	9 256,00	33 334	308 539 504,00
5-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles).	U	1 130,00	66 668	75 334 840,00
5-4	Pose de la voie.	Ml	1 988,00	20 000	39 760 000,00
5-5	Soudures aluminothermiques et électriques.	U	20 806,00	2 221	46 210 126,00
				PRIX TOTAL :	762 493 470,00 DA

Tableau XIII N°01 : Devis Quantitatif et Estimatif (suite).

Lot.N°	Désignations		Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
6. TRAVAUX DE LA VOIE DANS LA GARE						
6-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m)		T	121 250,00	426,00	51 652 255,85
6-2	Fourniture des traverses bi-bloc		U	9 256,00	5 884	54 462 304,00
6-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles)		U	1 130,00	11 768	13 297 840,00
6-4	Pose de la voie		Ml	1 988,00	3 529,98	7 017 600,24
6-5	Soudures aluminothermiques et électriques		U	20 806,00	391	8 135 146,00
6-6	Fourniture adv	UIC 60-500-1/12	U	15 899976,16	6	95 399 856,96
6-7		UIC 60-190-1/9	U	7 841 980,00	4	31 367 920,00
6-8	Pose adv	UIC 60-500-1/12	U	412 933,00	6	2 477 598,00
6-9		UIC 60-190-1/9	U	206 216,00	4	824 864,00
6-10	Heurtoir		U	936 686,00	4	3 746 744,00
6-11	Traverses de Garage Franc		U	40 891,56	10	408 915,60
6-12	Bâtiments voyageurs		F			17 417 400,00
6-13	F/p des quais avec tous ces installations		U	19 417281,00	2	38 834 562,00
6-14	Passage souterrain (étude, fourniture et mise en œuvre)		U	10 609063,00	1	10 609 063,00
6-15	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare		F			83 803 927,70
					PRIX TOTAL :	419 455 997,35 DA
7. INSTALLATIONS ERTMS :						
7-1	Étude.		F			1 862 121,60
7-2	Fourniture.		F			53 201 753,34
7-3	Travaux.		F			58 609 732,88
7-4	Génie Civil.		F			46 463 315,34
					PRIX TOTAL :	160 136 923,16 DA
8. OUVRAGE D'ART						
8-1			F			900 000 000,00 DA
8-2			F			600 000 000,00 DA
					PRIX TOTAL :	1 500 000 000,00 DA
MONTANT TOTAL DU PROJET (en HT) :						**5 293 591 368,14 DA**
MONTANT TOTAL FINAL (en TTC) :						**6 299 373 728,08 DA**

MONTANT TOTAL EN TTC (EN LETTRES) :

Six milliards deux cent quatre-vingt-dix-neuf millions trois cent soixante-treize mille sept cent vingt-huit Dinar Algérien et huit centimes.

CHAPITRE XV :

PLANIFICATION DE PROJET

CHAPITRE XV. PLANIFICATION DE PROJET :

INTRODUCTION :

Un chantier correspond à une installation permanente dans un endroit généralement ouvert. Sa durée est limitée au temps nécessaire pour réaliser un projet, généralement quelques années au maximum. Les entreprises spécialisées dans les travaux publics sont les seules à être soumises aux aléas climatiques tels que la pluie ou le gel.

L'organisation d'un chantier consiste à définir et à coordonner l'utilisation des ressources nécessaires afin de réaliser les travaux dans les meilleures conditions possibles.

Avant de se rendre sur le chantier et de commencer les travaux effectifs, il est indispensable de procéder à une étude théorique préliminaire, appelée planification.

XV.1. PLANIFICATION :

La planification implique une recherche constante de la meilleure façon d'utiliser de manière économique la main-d'œuvre et les autres ressources requises, dans le but d'assurer l'efficacité des actions entreprises.

Le planning est l'un des seuls documents de chantier qui concerne tous les acteurs impliqués, du client à l'entreprise chargée de la réalisation.

- **Objectifs de la planification :**

La planification vise à atteindre les objectifs suivants :

- Garantir l'exécution du travail dans un ordre correct, en assurant une bonne séquence des opérations du réseau.

- Respecter les délais fixés, en évitant les retards.

- Optimiser les coûts, en cherchant à réaliser le projet de la manière la plus économique possible afin d'obtenir un bénéfice.

XV.2 LE DIAGRAMME DE GANTT :

Le diagramme de Gantt est l'un des langages graphiques utilisés dans la planification d'un chantier.

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé en ordonnancement et en gestion de projet. Il permet de visualiser dans le temps les différentes tâches qui composent un projet. Il offre une représentation graphique des délais prévus pour l'exécution des tâches et permet de suivre l'avancement du projet.

Les facteurs importants à prendre en compte lors de l'établissement d'un planning Gantt sont les suivants :

- La séquence logique des travaux en fonction de leurs dépendances mutuelles.
- Le nombre total d'heures prévues pour l'exécution, à partir du devis quantitatif.
- Le rendement du matériel mis à disposition sur le chantier.
- Le délai d'exécution prévu.

XV.3 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

Dans le présent projet nous avons réalisé le diagramme de GANTT en utilisant le logiciel **Ms Project,** après incorporation des données du projet, les résultats obtenues sont :

Le délai d'exécution du présent projet est arrêté à **593 Jours** reparti conformément au planning et qui se résume comme suit :

- Le délai d'exécution de la section INSTALLATION GÉNÉRALE DE CHANTIER **593 jours**.
- Le délai d'exécution de la section ÉTUDE D'EXÉCUTION **65 jours**.
- Le délai d'exécution de la section TERRASSEMENT GÉNÉRAUX **230 jours**.
- Le délai d'exécution de la section DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT **115 jours**.
- Le délai d'exécution de la section ASSISE FERROVIAIRE **308 jours**
- Le délai d'exécution de la section TRAVAUX DE VOIE **103 jours**.
- Le délai d'exécution de la section BÂTIMENT GARE **150 jours**.
- Le délai d'exécution de la section SIGNALISATION **175 jours**

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE :

De nos jours, les infrastructures de transport reflètent le degré du développement d'un pays en termes de mobilité, d'échanges commerciaux et de communication. À cet effet, les pouvoirs publics ont lancé un programme ambitieux de modernisation des anciennes lignes et la création de nouvelles.

Le tronçon étudié, fait partie du programme cité et concerne le projet de la nouvelle desserte ferroviaire reliant Ain El Beida – Khenchela dans sa partie Ain el Beida et Metoussa, du PK 9+000 au PK 29+000.

Le projet de fin d'études, nous a permis d'avoir une compréhension approfondie du domaine du transport ferroviaire sous ses divers aspects. Le travail réalisé dans le cadre de ce projet de fin d'études était l'occasion de mettre en pratique nos connaissances théoriques retenues durant les années de formation à l'ENSTP et de nous familiariser avec les défis auxquels sont confrontés les ingénieurs.

L'étude APD de cette nouvelle desserte ferroviaire nous a amené à explorer des éléments essentiels comme la planification du tracé, la conception des infrastructures et des installations, tout en prenant en considération les aspects environnementaux et ceux liées au développement durable pour garantir une conception équilibrée et respectueuse de l'environnement.

Durant la réalisation de ce travail nous avons pu également développer des compétences en matière d'analyse de données, d'utilisation d'outils de modélisation et de simulation (AutoCAD, Covadis, Global mapper et MS Project), ainsi qu'en gestion de projet. Nous avons appris, aussi, à travailler en équipe, à communiquer efficacement avec des parties prenantes (période de stage), et à prendre des décisions judicieuses en fonction des contraintes et des objectifs du projet.

En conclusion, ce projet de fin d'études était l'occasion de vivre une expérience précieuse dans le domaine du transport ferroviaire. Nous sortons convaincus que les compétences et les connaissances que nous avons acquises nous seront utiles dans notre future carrière, et nous sommes enthousiastes à l'idée de contribuer au développement et à l'amélioration des systèmes de transport ferroviaire dans le futur. Néanmoins, nous sommes conscientes que ces acquis doivent être complétés par compétences avérées en matière de gestion de projet car être chef de projet n'est pas une fonction mais un métier.

Bibliographie

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[12] Nationale des Transports Ferroviaires, [http://www.sntf.dz], Société Algérie.

[13] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[14] IN-3278-Tome 2 – Ouvrage en terre.

[15] ST N°590 B-Oct 95.

[16] Article, La Houille Blanche, n° 6, 2015, p. 56-64, Mise en œuvre de la méthode de cartographie du ruissellement IRIP pour l'analyse des risques lies aux écoulements sur l'infrastructure ferroviaire.

[17] Chazelle Blandine, Lambert Lucie, Pams-Capoccioni Cicely. La vulnérabilité des infrastructures ferroviaires face aux évènements hydrologiques extrêmes. État des connaissances et gestion du risque, 34èmes journées de l'hydraulique. Paris, 1 et 2 février 2012. 2012.

[18] Congrès SHF : « Évènements extrêmes d'inondation 2013 », Paris, 13-14 novembre 2013 – PAMS CAPOCCIONI, CŒUR, CHENIER, CHAZELLE, SAINT- MARC, LANG – Impacts des inondations historiques sur un réseau de transport : exemple le réseau ferroviaire français.

ANNEXE

ANNEXE A : Listing Axe en plan

Eléments caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	**Paramètres**		**Longueur**	**Abscisse**	**X**	**Y**
Droite 1	Gisement	266,8323	1566,841	9000,000	353215,100	3955290,978
Clothoïde 1	Paramètre	494,9747	70,000	10566,841	351856,142	3954511,091
Arc 1	Rayon	3500,0000	2270,240	10636,841	351795,546	3954476,046
	Centre X	353567,922				
	Centre Y	3951457,987				
Clothoïde 2	Paramètre	-494,9747	70,000	12907,081	350332,286	3952792,399
Droite 2	Gisement	224,2654	906,635	12977,081	350306,030	3952727,510
Clothoïde 3	Paramètre	-500,0000	50,000	13883,716	349968,764	3951885,941
Arc 2	Rayon	-5000,0000	1488,973	13933,716	349950,087	3951839,560
	Centre X	345318,275				
	Centre Y	3953722,728				
Clothoïde 4	Paramètre	500,0000	50,000	15422,689	349193,676	3950563,414
Droite 3	Gisement	243,8602	2102,501	15472,689	349161,954	3950524,766
Clothoïde 5	Paramètre	632,4555	40,000	17575,190	347825,331	3948901,822
Arc 3	Rayon	10000,0000	714,260	17615,190	347799,922	3948870,928
	Centre X	355531,734				
	Centre Y	3942529,076				
Clothoïde 6	Paramètre	-632,4555	40,000	18329,450	347367,048	3948302,975
Droite 4	Gisement	239,0584	2711,687	18369,450	347343,996	3948270,285
Clothoïde 7	Paramètre	-406,2019	150,000	21081,137	345782,727	3946053,151
Arc 4	Rayon	-1100,0000	778,381	21231,137	345693,618	3945932,527
	Centre X	344839,472				
	Centre Y	3946625,661				
Clothoïde 8	Paramètre	406,2019	150,000	22009,518	345037,992	3945543,723
Droite 5	Gisement	292,7880	869,285	22159,518	344889,408	3945523,388
Clothoïde 9	Paramètre	424,2641	150,000	23028,803	344025,695	3945425,121
Arc 5	Rayon	1200,0000	705,045	23178,803	343877,068	3945405,067
	Centre X	344086,926				
	Centre Y	3944223,560				
Clothoïde 10	Paramètre	-438,1780	160,000	23883,847	343257,334	3945090,612
Droite 6	Gisement	247,1612	1354,977	24043,847	343146,778	3944974,995
Clothoïde 11	Paramètre	721,1103	40,000	25398,824	342232,326	3943975,125
Arc 6	Rayon	13000,0000	3400,733	25438,824	342205,346	3943945,594
	Centre X	351811,846				
	Centre Y	3935186,875				
Clothoïde 12	Paramètre	-721,1103	40,000	28839,557	340266,978	3941163,165
Droite 7	Gisement	230,3117	120,505	28879,557	340248,626	3941127,623
				29000,062	340193,393	3941020,522
Longueur totale de l'axe 20000.00 mètres						

ANNEXE B : Listing profil en long

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.88 %	1771,158	8+1000.000	923,762
Cercle 1	Rayon	-85000.000 m	85,547	10+771.158	908,259
	Sommet Absc.	10+027.182 m			
	Sommet Alt.	911.515 m			
Pente 2	Pente	-0.98 %	1116,188	10+856.706	907,467
Cercle 2	Rayon	23000.000 m	84,717	11+972.893	896,573
	Sommet Absc.	12+197.353 m			
	Sommet Alt.	895.478 m			
Pente 3	Pente	-0.61 %	4496,730	12+057.610	895,903
Cercle 3	Rayon	30000.000 m	91,321	16+554.340	868,581
	Sommet Absc.	16+736.613 m			
	Sommet Alt.	868.027 m			
Pente 4	Pente	-0.30 %	1424,447	16+645.661	868,165
Cercle 4	Rayon	-18000.000 m	84,731	18+070.108	863,847
	Sommet Absc.	18+015.537 m			
	Sommet Alt.	863.929 m			
Pente 5	Pente	-0.77 %	461,264	18+154.839	863,390
Cercle 5	Rayon	11000.000 m	85,129	18+616.103	859,820
	Sommet Absc.	18+701.233 m			
	Sommet Alt.	859.491 m			
Pente 6	Pente	-0.00 %	1731,438	18+701.233	859,491
Cercle 6	Rayon	-27000.000 m	96,130	20+432.670	859,491
	Sommet Absc.	20+432.670 m			
	Sommet Alt.	859.491 m			
Pente 7	Pente	-0.36 %	3159,956	20+528.801	859,320
Cercle 7	Rayon	11000.000 m	81,486	23+688.757	848,069
	Sommet Absc.	23+727.921 m			
	Sommet Alt.	847.999 m			
Pente 8	Pente	0.38 %	1463,604	23+770.243	848,081
Cercle 8	Rayon	-17000.000 m	82,512	25+233.848	853,712
	Sommet Absc.	25+299.255 m			
	Sommet Alt.	853.838 m			
Pente 9	Pente	-0.10 %	1396,161	25+316.360	853,829
Cercle 9	Rayon	27000.000 m	83,519	26+712.521	852,424
	Sommet Absc.	26+739.687 m			
	Sommet Alt.	852.411 m			
Pente 10	Pente	0.21 %	626,335	26+796.040	852,470
Cercle 10	Rayon	15000.000 m	116,292	27+422.375	853,777
	Sommet Absc.	27+391.068 m			
	Sommet Alt.	853.744 m			
Pente 11	Pente	0.98 %	716,887	27+538.667	854,470
Cercle 11	Rayon	-9000.000 m	188,890	28+255.554	861,525
	Sommet Absc.	28+344.114 m			
	Sommet Alt.	861.961 m			
Pente 12	Pente	-1.11 %	555,556	28+444.444	861,401
				29+000.000	855,208
Longueur totale de l'axe 20000.000 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 20000.343 mètre(s)					

Annexe C : Canalisation circulaires partiellement remplie

CANALISATIONS CIRCULAIRES PARTIELLEMENT REMPLIES

H/D	TETA	Q/QPS	V/VPS	S/SPS	L/D	RH/D	RER
0.02	0.2838	0.001	0.14	0.005	0.280	0.013	0.191
0.04	0.4027	0.003	0.22	0.013	0.392	0.026	0.187
0.06	0.4949	0.007	0.29	0.024	0.475	0.039	0.210
0.08	0.5735	0.013	0.35	0.037	0.543	0.051	0.228
0.10	0.6435	0.021	0.40	0.052	0.600	0.064	0.241
0.12	0.7075	0.031	0.45	0.068	0.650	0.075	0.251
0.14	0.7670	0.042	0.50	0.085	0.694	0.087	0.260
0.16	0.8230	0.056	0.54	0.103	0.733	0.099	0.266
0.18	0.8763	0.071	0.58	0.122	0.768	0.110	0.272
0.20	0.9273	0.088	0.62	0.142	0.800	0.121	0.276
0.22	0.9764	0.106	0.65	0.163	0.828	0.131	0.279
0.24	1.0239	0.126	0.68	0.185	0.854	0.142	0.281
0.26	1.0701	0.148	0.72	0.207	0.877	0.152	0.283
0.28	1.1152	0.171	0.75	0.229	0.898	0.161	0.284
0.30	1.1593	0.196	0.78	0.252	0.917	0.171	0.284
0.32	1.2025	0.222	0.80	0.276	0.933	0.180	0.284
0.34	1.2451	0.249	0.83	0.300	0.947	0.189	0.283
0.36	1.2870	0.277	0.86	0.324	0.960	0.198	0.281
0.38	1.3284	0.307	0.88	0.349	0.971	0.206	0.279
0.40	1.3694	0.337	0.90	0.374	0.980	0.214	0.277
0.42	1.4101	0.368	0.92	0.399	0.987	0.222	0.274
0.44	1.4505	0.400	0.94	0.424	0.993	0.229	0.271
0.46	1.4907	0.433	0.96	0.449	0.997	0.237	0.268
0.48	1.5308	0.466	0.98	0.475	0.999	0.243	0.264
0.50	1.5708	0.500	1.00	0.500	1.000	0.250	0.260
0.52	1.6108	0.534	1.02	0.525	0.999	0.256	0.255
0.54	1.6509	0.568	1.03	0.551	0.997	0.262	0.250
0.56	1.6911	0.603	1.05	0.576	0.993	0.268	0.245
0.58	1.7315	0.637	1.06	0.601	0.987	0.273	0.239
0.60	1.7722	0.672	1.07	0.626	0.980	0.278	0.233
0.62	1.8132	0.706	1.08	0.651	0.971	0.282	0.227
0.64	1.8546	0.740	1.09	0.676	0.960	0.286	0.221
0.66	1.8965	0.773	1.10	0.700	0.947	0.290	0.214
0.68	1.9391	0.806	1.11	0.724	0.933	0.293	0.207
0.70	1.9823	0.837	1.12	0.748	0.917	0.296	0.200
0.72	2.0264	0.868	1.13	0.771	0.898	0.299	0.192
0.74	2.0715	0.898	1.13	0.793	0.877	0.301	0.184
0.76	2.1176	0.926	1.14	0.815	0.854	0.302	0.175
0.78	2.1652	0.953	1.14	0.837	0.828	0.304	0.166
0.80	2.2143	0.977	1.14	0.858	0.800	0.304	0.157
0.82	2.2653	1.000	1.14	0.878	0.768	0.304	0.148
0.84	2.3186	1.021	1.14	0.897	0.733	0.304	0.138
0.86	2.3746	1.039	1.14	0.915	0.694	0.303	0.127
0.88	2.4341	1.054	1.13	0.932	0.650	0.301	0.116
0.90	2.4981	1.066	1.12	0.948	0.600	0.298	0.104
0.92	2.5681	1.073	1.12	0.963	0.543	0.294	0.091
0.94	2.6467	1.076	1.10	0.976	0.475	0.289	0.077
0.96	2.7389	1.071	1.09	0.987	0.392	0.283	0.061
0.98	2.8578	1.057	1.06	0.995	0.280	0.274	0.041
1.00	3.1416	1.000	1.00	1.000	0.000	0.250	0.000

Annexe D : Classifications des sols selon UIC.

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe E : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise.

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

(e en mètres)

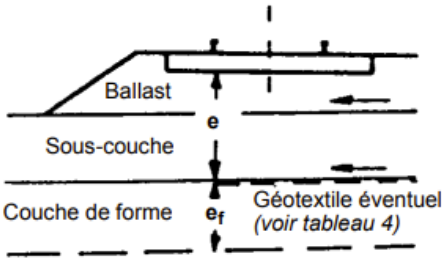


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

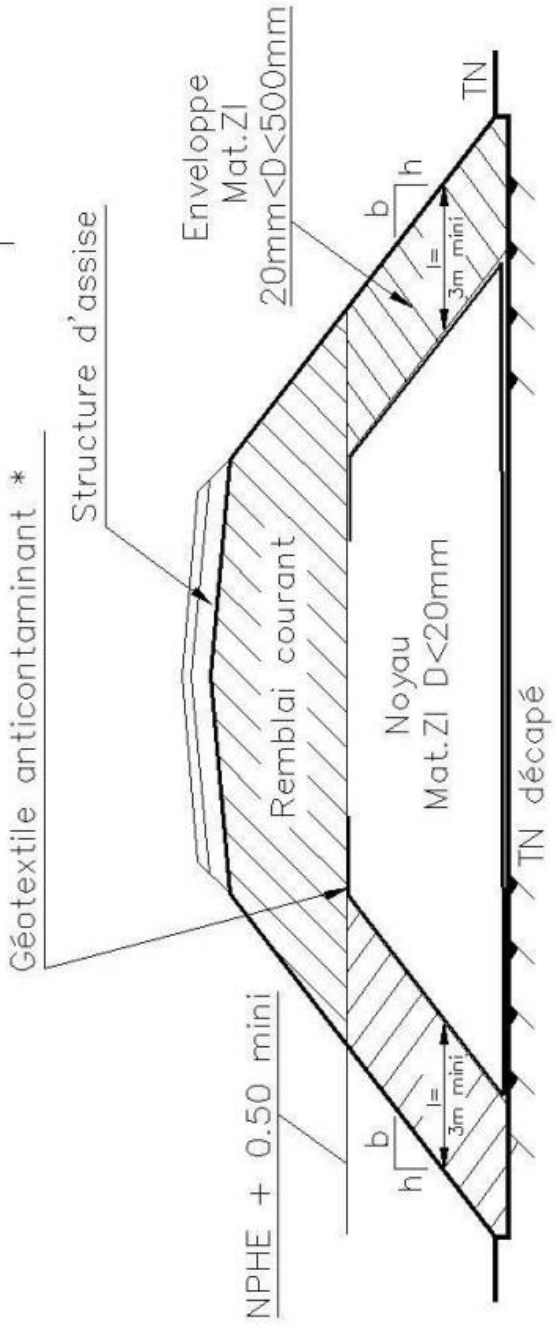
E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1[a]
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2[a]
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3[a]
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC)[b]
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4[b]
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6[b]
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	$= \frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur"[b]
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2[c]
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3[c]

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.
b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (v oir Bibliographie).
c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE F : ANNEXE 7 de la norme IN 3278

« Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe »

Annexe 7 – Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe



Le NPHE (niveau des plus hautes eaux) est déterminé par l'étude hydraulique

* Si les conditions de Terzaghi ne sont pas respectées entre les matériaux du noyau et ceux de l'enveloppe

ANNEXE G : FICHE 7 de la norme ST N°590

« Matériaux de zone inondable »

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 26

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

Type de matériau : CiB3 , D3 , R21 , R22 , R41 , R42 , R61 , R62 , F31 , F71

désignation		Granulat 0/D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	LA+MDA	<= 80	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	63 à 500	
granularité	P[Dmax]	>= 99 %	
(fuseau de spécification)	P[D]	[1]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	<= 5 %	[2]
angularité			
forme			
propreté			
Caractéristiques complémentaires			
sensibilité au gel		non gélif	
dégradabilité		non mesurable	
granulats artificiels		[3]	

[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)

[2] mesuré sur la fraction 0/50

[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2