



Mémoire :

Pour l'obtention du diplôme ingénieur d'Etat

Filière : Travaux publics

Spécialité : Infrastructure de base et Matériaux de structure

Thème :

**Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire Kasr El
Boukhari -Boughezoul du (PK 28+500 au PK 41+892)
avec la conception de la gare de Boughezoul .**

Présenté par :

NEKAA Lamri

ZIOUACHE Oussama

Encadré par :

Mr. GHAFAR Karam Allah

Promotion 2025/2026

ملخص :

يهدف هذا المشروع إلى إعداد دراسة مفصلة لمقطع من خط سكة حديدية مزدوج (ثنائي السكة) يربط بين قصر البخاري وبوغزول يبدأ المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 28+500 وينتهي عند النقطة الكيلومترية 41+892 ، أي بطول إجمالي يقدر بـ 13.400 كلم. ويتضمن المشروع دراسة وتصميم مختلف عناصر البنية التحتية والفوقية للخط، مع الأخذ بعين الاعتبار متطلبات السرعة والأمان والراحة، بالإضافة إلى دراسة محطة بوغزول الواقعة بالقرب من نهاية المقطع.

تم إعداد هذا المشروع وفقاً للمعايير الدولية للاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) ، وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية الجزائرية (SNTF)

تم إنجاز النمذجة الهندسية للمسار باستخدام البرامج التالية **AutoCAD ، Covadis ، Google Earth Pro و Geo5**، والتي ساهمت في إعداد المخططات الهندسية، ودراسة المسار، وتحليل الخصائص الجيوتقنية، وضمان دقة مختلف مراحل التصميم.

الكلمات المفتاحية : خط منجمي، سكة، عارضة، سكة حديدية، تحويلة، مصد، خط جانب.

Résumé :

Ce projet vise à réaliser une étude détaillée d'un tronçon de ligne ferroviaire à double voie reliant Ksar El Boukhari à Boughezoul. Le tronçon étudié débute au point kilométrique PK 28+500 et s'achève au PK 41+892, soit une longueur totale d'environ 13,400 km.

L'étude comprend la conception et le dimensionnement des différents éléments de l'infrastructure et de la superstructure ferroviaire, tout en tenant compte des exigences de vitesse, de sécurité et de confort. Elle intègre également l'étude de la gare de Boughezoul, située à proximité de l'extrémité du tronçon.

Ce projet a été élaboré conformément aux normes internationales de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) ainsi qu'aux recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF).

La modélisation géométrique du tracé a été réalisée à l'aide des logiciels **AutoCAD, Covadis, Google Earth Pro et Geo5**. Ces outils ont permis l'élaboration des plans techniques, l'étude du tracé, l'analyse des caractéristiques géotechniques ainsi que l'optimisation et la précision des différentes phases de conception.

Mots-clés : Ligne minière – Voie ferrée – Déviation ferroviaire – Remblai – Voie de garage.

Abstract :

This project aims to carry out a detailed study of a double-track railway section connecting Ksar El Boukhari to Boughezoul. The studied section starts at chainage PK 28+500 and ends at PK 41+892, covering a total length of approximately 13.400 km.

The project includes the study and design of the various components of the railway infrastructure and superstructure, while taking into account the requirements of speed, safety, and passenger comfort. It also includes the study of the Boughezoul railway station, located near the end of the studied section.

This project was developed in accordance with the international standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF).

The geometric modeling of the railway alignment was carried out using **AutoCAD, Covadis, Google Earth Pro, and Geo5** software. These tools contributed to the preparation of engineering drawings, route analysis, geotechnical investigations, and the accurate design of the different project components.

Keywords: Mining railway line – Railway track – Railway deviation – Embankment – Siding track

REMERCIEMENT :

Nous exprimons tout d'abord notre gratitude envers Dieu pour le courage et la détermination qu'il nous a accordés pour achever ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à nos familles et à nos parents, pour leur soutien indéfectible, leur confiance constante et leur présence bienveillante tout au long de ces années de formation et de persévérance.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur **GHAFFAR Karam Allah**, pour avoir accepté d'encadrer ce travail. Sa disponibilité, ses orientations méthodologiques rigoureuses ainsi que ses conseils techniques avisés ont été déterminants pour la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions chaleureusement l'équipe professionnelle de **COSIDER** pour son accueil, sa collaboration active et la qualité des échanges partagés durant notre stage. Nous adressons également nos remerciements aux Sous-directeur technique **KHLIFI Aissa** et chef section **MADI Bilal** pour leur accompagnement et leur encadrement professionnel tout au long de la période de stage.

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble du corps enseignant de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), et en particulier à Monsieur **Morsli**, pour son encadrement pédagogique et ses remarques pertinentes tout au long de notre formation.

Nous saluons également le professionnalisme et l'engagement de l'équipe administrative de l'École, notamment Madame MEKIDECHE, Directrice de l'ENSTP, Monsieur F. FEDGHOUCHE, Directeur des études, Madame M. MAHIAOUI, Chef du Département Infrastructure de Base, ainsi que Mesdames I. MAKOUDI et M. BOUREBIA, Chef du Département Matériaux et structures N. ZOURGI pour leur soutien logistique et leur encadrement efficace.

Nous remercions sincèrement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'attention qu'ils y porteront.

Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet. Leur soutien, qu'il soit moral, technique ou humain, a été précieux et déterminant.

Dédicace :

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui quels que soient les termes embrassés je n'arriverais jamais exprimer mon amour sincère.

A l'homme mon précieux offre du dieu qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père. A la femme qui a souffert sans ma laisser souffrir ,qui n'a jamais dit non à mes exigences qui n'a épargné aucune effort pour me rendre heureux : mon adorable et mère mes deux frère qui n'ont pas cassée de ma conseiller encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu les protège et leurs offres la chance et le bonheur.

A tout les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant merci pour leurs encouragements.

A mes professeurs, qui m'ont transmis le savoir et m'ont aidé à progresser dans mes études et ma formation.

Sans oublier mon binôme, pour son soutien moral, sa patience, sa compréhension et sa précieuse collaboration tout au long de la réalisation de ce projet. Je lui souhaite beaucoup de réussite et d'épanouissement dans sa vie personnelle et professionnelle.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements.

Dédicace :

Avant tout, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force, la patience et le courage pour accomplir ce travail.

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, symbole de sacrifice et de soutien, qui ont toujours été à mes côtés et m'ont encouragé à réussir. Je leur exprime tout mon amour, mon respect et ma gratitude.

À mes chers frères et sœurs, qui m'ont entouré d'amour et de soutien, et qui m'ont toujours encouragé dans les différents moments de ma vie.

À tous les membres de ma famille, qui m'ont soutenu par leurs prières et leur présence tout au long de mon parcours d'études.

À mes professeurs, qui m'ont transmis le savoir et m'ont aidé à progresser dans mes études et ma formation.

À mes amis et collègues, avec qui j'ai partagé de beaux moments d'études et de travail, et qui ont été un bon soutien pour moi.

À toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Sans oublier mon binôme, pour son soutien moral, sa patience, sa compréhension et sa précieuse collaboration tout au long de la réalisation de ce projet. Je lui souhaite beaucoup de réussite et d'épanouissement dans sa vie personnelle et professionnelle.

Je vous dédie ce modeste travail, en espérant qu'il soit utile et bénéfique.

ZIOUACHE Oussama

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE :	1
CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉ :	3
I.1 Introduction :	3
I.2 Infrastructure ferroviaire :	3
I.3 Les types de la voie ferrée :	3
I.4 L'histoire du chemin de fer en Algérie :	3
I.4.1 Avant l'indépendance :	3
I.4.2 Après l'indépendance :	5
I.5 État actuel et perspectives de développement du réseau ferroviaire en Algérie :	5
I.6 Avantages des transports ferroviaires :	6
I.7 Conclusion :	7
CHAPITRE II. PRÉSENTATION DU PROJET :	9
II.1 Introduction :	9
II.2 Présentation du site :	9
II.3 Le relief :	9
II.4 Le climat :	9
II.5 Sismicité :	9
II.6 Présentation du projet étudié :	10
II.7 Objectif de projet :	10
II.8 Caractéristiques du projet :	11
II.9 Conclusion :	11
CHAPITRE III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE :	13
III.1 Introduction :	13
III.2 Le rail :	13
III.3 Les traverses :	14
III.4 Les attaches :	15
III.5 Le ballast :	15
III.6 Les caténaires :	16
III.7 Les appareils de voie :	16
III.7.1 Définition :	16
III.7.2 Types d'appareils de voie :	16
III.7.2.1 Les branchements :	16
III.7.2.2 Les traversées jonctions :	17
III.7.2.3 Les traversées Oblique :	17
III.8 Conclusion :	17
CHAPITRE IV. LA GÉOMÉTRIE DE LA VOIE :	19

IV.1 Introduction :	19
IV.2 Trace En Plan :	19
IV.2.1 Critères de limitation des paramètres de trace en plan :	19
IV.2.2 Les conditions et les règles à respecter dans la trace en plan :	19
IV.2.3 Les éléments du tracé en plan :	20
IV.2.4 Les paramètres géométriques de la trace :	20
IV.2.4.1 Le devers :	20
IV.2.4.1.1 Devers théorique (<i>dth</i>) :	20
IV.2.4.1.2 Devers pratique (<i>dp</i>) :	21
IV.2.4.1.3 Devers maximum admissible :	21
IV.2.4.1.4 Insuffisances de devers (I) :	21
IV.2.4.1.5 Excès de devers :	22
IV.2.4.1.6 La variation de l'insuffisance de devers :	22
IV.2.4.1.7 Variation de devers dans les courbes de transition en fonction de longueur $\Delta d\Delta L$:	23
IV.2.4.1.8 Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction du temps $\Delta d\Delta T$:	23
IV.2.4.2 Rayon minimal :	24
IV.2.4.3 Longueur minimale des éléments de trace :	24
IV.2.5 Application au projet :	25
IV.2.6 Les contraintes le long du tracé :	27
IV.3 Profil en long :	27
IV.3.1 Introduction :	27
IV.3.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	27
IV.3.3 Eléments géométriques du profil en long :	28
IV.3.3.1 Les alignements droits :	28
IV.3.3.1.1 Déclivité Maximale :	28
IV.3.3.1.2 longueur minimale des éléments :	28
IV.3.3.2 Les raccordements :	28
IV.3.4 Application sur le projet :	29
IV.3.5 Conclusion :	29
CHAPITRE V. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE :	32
V.1 Introduction :	32
V.2 Méthodologie et critères de conception :	32
V.3 Étude hydrologique :	32
V.3.1 Présentation générale de la zone de projet :	33
V.3.2 Caractéristique climatique et pluviométriques :	33
V.3.2.1 Climat :	33

V.3.2.2 Température :	34
V.3.2.3 Les précipitations :	34
V.3.3 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :	35
V.3.3.1 Notion 'Bassin versant' :	35
V.3.3.2 Délimitation des bassins versant :	35
V.3.4 Calcul des débits maximaux (Les crues) :	37
V.3.4 .1 Formule rationnelle ($S < 10 \text{ km}^2$) :	37
V.3.4.2 Formule Mallet et Gauthier ($S > 10 \text{ km}^2$) :	39
V.4 Calcul hydraulique :	40
V.4.1 Dimensionnent des ouvrages transversaux :	40
V.4.1.1 Les buses :	40
V.4.1.2 Les dalots :	42
V.4.2 Dimensionnent des ouvrages longitudinaux :	44
V.4.2.1 Les fossés :	44
V.5 Conclusion :	46
CHAPITRE VI. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE :	48
VI.1 Introduction :	48
VI.2 Étude Géologique :	48
VI.2.1 Cadre géologique général :	48
VI.2.2 Contexte géologique de ce tronçon :	49
VI.3 Etude géotechnique :	49
VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique :	49
VI.4 Essais in situ :	50
VI.4.1 Méthodologie d'investigation :	50
VI.5 Essais de laboratoire :	52
VI.6 Lithologie de la zone d'étude :	53
VI.7 Présentation des résultats :	55
VI.7.1 Puits de reconnaissances :	55
VI.7.2 Sondages carottés :	56
VI.7.3 Essais chimiques :	57
VI.7.4 Pénétromètre dynamique lourd :	58
VI.7.5 Essais de Standard Penetration Test (NF P 94-116) :	59
VI.8 Lot ouvrage d'art :	60
VI.9 Localisation des zones à risques :	60
VI.9.1 Zone inondable :	60
VI.9.2 Agressivité du sol :	61
VI.9.3 Sol de faible portance QS0 :	61

VI.10 Gites d'emprunts et carrières :	61
VI.11 Conclusion :	63
CHAPITRE VII. ASSISE FERROVIAIRE :	65
VII.1 Introduction :	65
VII.2 Structure d'assise ferroviaire :	65
VII.3 Stratification de l'assise ferroviaire :	66
VII.3.1 Couche de ballast :	66
VII.3.2 Sous-couche :	66
VII.3.3 Plate-forme :	67
VII.3.3.1 Définition de la plate-forme :	67
VII.3.3.2 La classe de portance de la plateforme :	67
VII.3.3.3 Plate-forme proposée :	68
VII.3.3.4 Couche de forme :	68
VII.4 Dimensionnement de la structure d'assise :	68
VII.4.1 Calcul les épaisseurs minimales des couches de ballast et sous-ballast de pleine voie:	68
VII.4.2 Structure d'assise retenue :	69
VII.5 Conclusion :	69
CHAPITRE VIII. PROFIL EN TRAVERS :	71
VIII.1 Introduction :	71
VIII.2 Les éléments du profil en travers :	71
VIII.2.1 Les éléments de superstructure :	71
VIII.2.2 Les éléments de l'infrastructure :	71
VIII.2.3 Les éléments du talus :	71
VIII.2.4 Les éléments d'assainissement :	71
VIII.3 Profil en travers de notre projet d'étude :	72
VIII.4 Calcul des cubatures :	72
VIII.5 Conclusion :	73
CHAPITRE IX. TERRASSEMENT ET DES OUVRAGES :	77
IX.1 Introduction :	77
IX.2 Les terrassements :	77
IX.2.1 Objectifs et enjeux des terrassements :	77
IX.2.2 Décapage :	78
IX.2.3 Remblai :	78
IX.2.3.1 Conditions de réalisation des remblais :	78
IX.2.4 Déblais :	78
IX.2.4.1 Conditions d'excavation de déblai :	78
IX.2.5 Pente des talus en déblai et en remblai :	79

IX.2.6 Étude de stabilité :	79
IX.2.7 Protection des talus :	81
IX.3 Les ouvrages :	81
IX.3.1 Influence sur le choix des ouvrages :	81
IX.3.2 Le croisement route-rail :	81
IX.3.3 Les ouvrages d'art du projet :	82
IX.3.3.1 Rétablissement routier :	82
IX.3.3.2 Les ouvrages hydrauliques :	83
IX.3.3.3 Protection des conduites électriques :	83
IX.4 Conclusion :	84
CHAPITRE X. CONCEPTION DE LA GARE BOUGHEZOUL :	86
X.1 Introduction :	86
X.2 Type de gare :	86
X.3 Étude de plan de masse d'une gare :	86
X.4 Aménagement de la gare :	87
X.4.1 Les installations d'une gare à voyageurs :	87
X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux :	87
X.4.2.1 La longueur de la marge de glissement LG :	88
X.4.3 Garage franc GF :	88
X.4.4 La longueur utile de la voie de stationnement Lu :	88
X.4.5 Heurtoir :	89
X.5 Les caractéristiques géométriques de la gare :	89
X.5.1 La déclivité dans les gares :	89
X.5.2 Quai :	89
X.5.3 Les appareils de voie :	90
X.5.3.1 Conditions générales :	90
X.5.3.2 L'implantation des appareils de voie :	90
X.6 Gare Boughezoul :	91
X.6.1 Description de la gare :	91
X.6.2 Les caractéristiques de la gare Boughezoul :	92
X.6.3 Passage souterrain :	92
X.6.4 Assainissement de la gare :	92
X.6.4.1 Assainissement transversale :	92
X.6.4.2 Assainissement longitudinale :	93
X.6.4.3 Drainage des eaux de la plateforme :	93
X.7 Conclusion :	93
CHAPITRE XI. SIGNALISATION FERROVIAIRE :	96

XI.1 Introduction :	96
XI.2 Le rôle des installations de signalisation :	96
XI.3 Les risques ferroviaires :	96
XI.4 Fonction des signaux :	97
XI.5 Implantation longitudinale :	97
XI.6 Les signaux ferroviaires :	98
XI.7 Principe de base de cantonnement :	99
XI.8 Les types de blocs :	99
XI.9 Le système de signalisation moderne ERTMS :	100
XI.10 Application sur notre projet :	100
XI.11 Conclusion :	101
CHAPITRE XII. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :	103
XII.1 Introduction :	103
XII.2 Cadre Législatif et Réglementaire :	103
XII.3 Objectifs de l'étude d'impact environnemental :	104
XII.4 Analyse de l'état initial de la zone du projet :	104
XII.4.1 Situation géographique et administrative de la wilaya de Médéa :	104
XII.5 Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude (Boughezoul) :	104
XII.6 L'impact du projet :	106
XII.6.1 Les impacts positifs :	106
XII.6.2 Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées :	106
XII.7 Influence de l'environnement sur la réalisation du projet :	109
XII.8 Conclusion :	109
CHAPITRE XIII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :	111
CONCLUSION :	113

Liste des tableaux :

Tableau II-1 : Caractéristiques du projet.	11
Tableau III-1 : Les caractéristiques de rail type UIC 60 E1.	14
Tableau IV-1 : Calcul du devers théorique et ses paramètres.	21
Tableau IV-2 : Calcul du devers pratique et ses paramètres.	21
Tableau IV-3 : Valeurs admissibles de devers.	21
Tableau IV-4 : Calcul du l'insuffisance de dévers et ses paramètres.	21
Tableau IV-5 : Valeur limites de l'insuffisance de devers.	22
Tableau IV-6 : Calcul du l'excès de dévers et ses paramètres.....	22
Tableau IV-7 : Valeur limites de excès de dévers.	22
Tableau IV-8 : Formule et paramètres de la variation de l'insuffisance de devers.	22
Tableau IV-9 : Valeurs limites admissibles de la variation de l'insuffisance de devers.....	23
Tableau IV-10 : Formule et paramètres de la variation de devers en fonction de longueur.	23
Tableau IV-11 : Formule et paramètres de la variation du devers en fonction du temps.	23
Tableau IV-12 : Limite da la variation de divers.	23
Tableau IV-13 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.	24
Tableau IV-14 : Paramètres géométriques du tracé en plan.....	25
Tableau IV-15 : Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan.	26
Tableau IV-16 : Contraintes du tracé.....	27
Tableau IV-17 : Les déclivités maximales.	28
Tableau IV-18 : Longueurs minimales des déclivités.....	28
Tableau IV-19 : Valeurs de Rv.....	28
Tableau IV-20 : Paramètres géométriques de profil en long.....	29
Tableau V-1 : Température en C° mesurées à Boughezoul.....	34
Tableau V-2 : Précipitation journalière maximale au niveau de la station de Boughezoul dans la période (1948-2005).....	34
Tableau V-3 : Précipitations annuelles moyennes (mm).....	35
Tableau V-4 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants.....	36
Tableau V-5 : Formule rationnelle et ses paramètres.	37
Tableau V-6 : Coefficient C1.	37
Tableau V-7 : Coefficient C2.	38
Tableau V-8 : Coefficient C3.	38
Tableau V-9 : Formules et ses paramètres de Tc.	38
Tableau V-10 : Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour.....	39
Tableau V-11 : Formule mallet et gauthier et ses paramètres.	39
Tableau V-12 : Les débits maximaux centennaux des oueds.....	39
Tableau V-13 : la formule de Manning-Strickler et ses paramètres.	40

Tableau V-14 : vérification des conditions d'auto-curage.	41
Tableau V-15 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet vérifications des conditions d'auto-curage.	41
Tableau V-16 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.	43
Tableau V-17 : Caractéristiques des ouvrages hydrauliques.	43
Tableau V-18 : formule de Manning Strickler et ses paramètres.	44
Tableau V-19 : Les caractéristiques du remblai.	44
Tableau V-20 : Les dimensions du fossé.	45
Tableau VI-1 : Essais de laboratoire réalisés, normes applicables et paramètres déterminés.	52
Tableau VI-2 : Lithologie de la zone d'étude.	53
Tableau VI-3 : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances.	55
Tableau VI-4 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés.	56
Tableau VI-5 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés.	57
Tableau VI-6 : Résultats pénétromètre dynamique lourd.	58
Tableau VI-7 : Pénétration standard (SPT).	59
Tableau VI-8 : Sections de faible portance QS0.	61
Tableau VI-9 : Gite d'emprunt proposé.	62
Tableau VI-10 : Carrières proposées.	62
Tableau VII-1 : La classe la portance de la plate-forme.	68
Tableau VII-2 : Structure de la voie.	69
Tableau VIII-1 : Les cubatures de terrassement et les couches d'assises.	72
Tableau IX-1 : Les caractéristiques du sol en place.	80
Tableau IX-2 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.	80
Tableau IX-3 : Liste de rétablissement routier.	82
Tableau IX-4 : Liste des lignes électriques à franchir.	83
Tableau X-1 : La longueur de la marge de glissement LG.	88
Tableau X-2 : Les caractéristiques du quai.	89
Tableau X-3 : Longueur de l'appareil de voie.	90
Tableau X-4 : Règles d'implantation des appareils de voie.	90
Tableau X-5 : Caractéristiques de la gare de bougezoul.	92
Tableau XI-1 : Analyse des risques ferroviaires.	96
Tableau XI-2 : La signalisation du projet.	98
Tableau XII-1 : Quelques références légales et réglementaires.	103
Tableau XII-2 : Situation administrative de la wilaya de Médéa.	104
Tableau XII-3 : Les impacts positifs directs et indirects du projet.	106
Tableau XIII-1 : Devis quantitatif et estimatif.	111

Liste des Figures :

Figure I-1 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie.	7
Figure II-1 : Plan de situation.	9
Figure II-2 : Diagramme climatique de boughzoul.	9
Figure II-3 : Photo illustrative du projet Ksar El Boukhari - Boughezoul sur Google Earth.....	10
Figure III-1 : Les constituants de la voie ferrée.....	13
Figure III-2 : Rail type Vignole.....	13
Figure III-3 : Rail profile UIC 60 E1.	14
Figure III-4 : Traverse bi-bloc.	14
Figure III-5 : Traverse monobloc en BP.	15
Figure III-6 : Composition de l'attache Vossloh.....	15
Figure III-7 : Caténaire.	16
Figure III-8 : Schéma illustratif d'un appareil de voie.	17
Figure III-9 : Traversée-jonction S et D.....	17
Figure III-10 : Traversée- oblique ordinaire/combinée.	17
Figure IV-1 : Éléments constitutifs de l'axe en plan.	20
Figure IV-2 : Devers installer pour une voie en courbe.....	20
Figure IV-3 : Les éléments de trace en plan.....	25
Figure V-1 : Découpage hydrologique de l'Algérie en 13 bassins versants principaux (ANRH).....	33
Figure V-2 : Carte climatique de l'Algérie.....	33
Figure V-3 : Schéma de principe d'un bassin versant.	35
Figure V-4 : Exemple de délimitation des bassins versants de notre tracé.	36
Figure V-5 : schéma d'une buse.	40
Figure V-6 : schéma d'un dalot.	42
Figure V-7 : Le fossé trapézoïdal de notre projet.....	45
Figure VI-1 : Les grands ensembles géologiques de l'Algérie.	48
Figure VI-2 : localisation du tronçon étudié sur la carte géologique.....	49
Figure VI-3 : Sondage caroté 19.1.....	57
Figure VI-4 : Sondage caroté 19.2.....	57
Figure VI-5 : Localisation des zones inondables le long du trace étudié.....	61
Figure VI-6 : Position du gîte d'emprunt par rapport à notre tracé sur Google Earth.....	63
Figure VII-1 : Structure des couches de l'assise ferroviaire.....	66
Figure IX-1 : Passage à niveau.....	82
Figure IX-2 : Passage supérieur.....	82
Figure IX-3 : Passage inférieur.	83
Figure X-1 : Les installations d'une gare à voyageurs.	87
Figure X-2 : Schématisation de la marge de glissement.	88
Figure X-3 : Schéma du garage franc.....	88

Figure X-4 : Schéma illustratif de la longueur utile.....	89
Figure X-5 : Heurtoir.....	89
Figure X-6 : La hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie.....	90
Figure X-7 : Schéma illustratif.....	91
Figure X-8 : Schéma de la gare Bougezhoul.	91
Figure X-9 : Ouvrage de drainage de la plateforme.	93
Figure XI-1 : Le système de cantonnement.....	99
Figure XI-2 : Le système ERTMS.....	100

Liste des abréviations :

Abréviation	Désignation
APS	Avant-Projet Sommaire
MOA	Maitre Ouvrage d'Art
APD	Avant-Projet Détaillé
PK	Point Kilométrique
UIC	Union International du Chemin de fer
BT	Ligne électrique à Basse Tension
MT	Ligne électrique à Moyenne Tension
THT	Ligne électrique à Très Haute Tension
OH	Ouvrage Hydraulique
RN	Route Nationale
EIE	Etude d'Impact sur l'Environnement
SNTF	Société Nationale du Transport Ferroviaire
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BV	Bassin Versant
PU	Puit de reconnaissance
SC	Sondage Carotté
SP	Sondage Pressiométrique
PDL	Pénétromètre Dynamique Lourd
SPT	Standard Penetration Test
GTR	Guide des Terrassements Routiers
CBR	Californien Bearing Ratio
LT	Long Terme
CT	Court Terme
FSR	Front Supérieur de Roulement
Vi	Voie numéro « i »
ADV	Appareil De Voie
DD	Déviaton droite
DG	Déviaton gauche
LRS	Long Rail Soudé

Liste des symboles et leurs unités :

Symbole	Désignation	Unité
P	Précipitation de pluie	mm
V_{max}	Vitesse des trains voyageurs	Km/h
V_{min}	Vitesse des trains marchandises	Km/h
R	Rayon de raccordement circulaire	m
R_{min}	Rayon minimal	m
L_{min}	Longueur minimale des éléments	m
d_{th}	Dévers théorique	mm
d_p	Dévers pratique	mm
d_{max}	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
I_{max}	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
E_{max}	Excès de dévers maximal	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clothoïde	m
L_{adp}	Longueur adopté	m
R_{min}	Rayon minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
A	Superficie du bassin versant	Km ²
P	Périmètre du bassin versant	Km
L	Longueur de l'Oued principal	Km
H_{min}	Hauteur minimale du bassin versant (à l'exutoire)	m
H_{max}	Hauteur maximale du bassin versant	m
H_{moy}	Hauteur moyenne du bassin versant	m
ΔH	Différence de hauteur entre H _{max} et H _{min}	m
I	Pente moyenne du talweg principale	m/m
T_c	Temps de concentration	h
I	Intensité de la pluie	mm/h
a et b	Paramètres climatiques de Montana	-
Q₁₀₀	Débit de point de crue pour 100 ans	m ³ /s
Q_a	Débit d'apport	m ³ /s
Q_{sat}	Débit de saturation	m ³ /s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
K_s	Coefficient de rugosité	-

S_m	Section mouillée	m ²
P_m	Périmètre mouillé	m
R_h	Rayon hydraulique	m
I	Pente longitudinale de l'ouvrage	m/m
b	Largeur de l'ouvrage	m
V	Vitesse d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage hydraulique	m/s
V_{ps}	Vitesse d'écoulement pleine section	m/s
R_v	Rayon verticale (rapport des vitesse)	-
Ø	Diamètre de la buse	m
L	Longueur du bassin versant	Km
Q_{ps}	Débit a pleine section	m ³ /s
Q_{pf}	Débit évacuer par la plateforme	m ³ /s
Q_t	Débit évacuer par la berme de talus	m ³ /s
ω	Teneur en eau naturel	%
γ_h	Poids volumique humide	KN/m ³
γ_d	Poids volumique sec	KN/m ³
S_r	Degré de saturation	%
W_P	Limite de plasticité	%
W_L	Limite de liquidité	%
I_P	Indice de plasticité	%
I_c	Indice de consistance	-
C	Cohésion	Kpa
φ'	Angle de frottement	Degré (°)
P_c	Pression de consolidation	Bars
C_c	Coefficient de compressibilité	%
C_s	Indice de gonflement	%
ρ_d	Masse volumique sèche	Kg/m ³
VBS	Valeur de bleue en sol	g/100g
D_{max}	Diamètre maximale des grains	mm
W_{opt}	Teneur en eau optimale	%
γ_{opt}	Densité optimale	KN/m ³
I_{CBR}	Indice CBR	%
F_s	Facteur de sécurité	-
LG	Longueur de glissement	m
GF	Garage franc	m
Lu	Longueur utile	m

INTRODUCTION GENERALE :

L'être humain a toujours porté un grand intérêt au développement de son environnement. Depuis des millénaires, il exploite sans relâche les ressources naturelles pour satisfaire ses besoins fondamentaux, tels que l'alimentation, le logement, les transports et les loisirs. Au fil du temps, les infrastructures se sont également développées pour répondre à des besoins sociaux de plus en plus complexes. La construction de routes et de ponts a facilité les déplacements, celle de barrages et de canaux a permis la gestion des ressources en eau, et la mise en place de réseaux de communication a connecté les populations. L'Algérie, du fait de son vaste territoire, connaît une demande croissante en infrastructures (transports, énergie, eau, télécommunications et logement), et accorde donc une importance capitale à leur développement. Actuellement, parmi les grands projets d'infrastructures en cours de réalisation en Algérie figure la construction de nouvelles autoroutes. L'extension du réseau ferroviaire et la construction de nouveaux barrages.

L'infrastructure de transport algérienne comprend des routes, des voies ferrées, des ports et des aéroports. Le réseau routier, qui s'étend sur plus de 141 500 kilomètres, constitue le principal mode de transport du pays. Toutefois, ce réseau est fréquemment confronté à des problèmes tels que les accidents de la route et les embouteillages. Face au développement économique rapide de l'Algérie, il est impératif d'améliorer le réseau ferroviaire afin de répondre à la demande croissante du marché. C'est pourquoi l'Algérie lance de nouveaux projets de construction de lignes ferroviaires, fondés sur un plan de développement rigoureux.

Dans le cadre de ces projets, le gouvernement algérien prévoit la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire reliant la ville de Kasr El Boukhari au réseau ferroviaire de montagne existant (ligne Ouest Tissimsilte-Boughezoul, la ligne Est Boughezoul M'Sila et la ligne Sud Boughezoul Laghouat) qui sont tous liés à la gare centrale de Boughezoul.

Cette section fait partie de la ligne de Boumedfaa – Djelfa, en passant par la ville de Kasr El Boukhari et de Boughezoul. Sur 42 Km d'environ.

Ce travail se compose de 13 chapitres abordant :

CHAPITRE I : Généralités et histoire du chemin de fer.

CHAPITRE II : Présentation détaillée du projet, incluant la description de ses objectifs.

CHAPITRE III : Superstructure de la voie ferrée.

CHAPITRE IV et V et VI : Ils permettent d'anticiper et de résoudre les défis techniques liés à la construction.

CHAPITRE VII et VIII : Dimensionnement de l'assise ferroviaire et élaboration du profil en travers.

CHAPITRE IX et X : Terrassement et conception de la gare de Boughezoul.

CHAPITRE XI et XII : Signalisation ferroviaire et étude d'impact sur l'environnement.

CHAPITRE XIII : Devis et estimat quantitatif.

Ce mémoire illustre la mise en application des acquis théoriques et pratiques dans un contexte réel d'ingénierie, tout en consolidant nos compétences en conception de tracés ferroviaires, analyse de terrain, gestion de projet et usage de technologies numériques avancées. Il représente une étape décisive dans notre parcours de formation, en lien direct avec les enjeux actuels d'aménagement du territoire et de mobilité durable.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉ :

I.1 Introduction :

Les transports jouent un rôle crucial dans le développement économique de l'Algérie. Ils facilitent la circulation des biens et des personnes, contribuent à l'intégration régionale, réduisent les coûts logistiques et renforcent la compétitivité. La modernisation des infrastructures de transport, notamment ferroviaires, soutient la croissance économique, crée des emplois et offre de nouvelles perspectives économiques à l'ensemble du pays.

I.2 Infrastructure ferroviaire :

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

I.3 Les types de la voie ferrée :

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

I.4 L'histoire du chemin de fer en Algérie :

I.4.1 Avant l'indépendance :

- **1857-1878 (Période coloniale):**

L'histoire de chemin de fer l'Algérie débute officiellement le 8 avril 1857, par un décret impérial autorisant la création de 1 357 km de voies ferrées. L'objectif principal est d'établir un maillage structurant autour de trois centres d'administration coloniale : Alger, Oran et Constantine. Le réseau est conçu à des fins militaires, économiques et logistiques, notamment pour l'acheminement des matières premières vers les ports d'exportation.

La première ligne opérationnelle, Alger–Blida, est ouverte le 8 septembre 1862, traversant la plaine de la Mitidja. D'autres lignes comme Oran–Saint-Denis-du-Sig ou Philippeville–Constantine sont entamées mais suspendues faute de financements.

Face aux contraintes budgétaires, l'administration coloniale confie la réalisation des infrastructures à plusieurs compagnies privées concessionnaires :

CHAPITRE I : GENERALITÉS

- ✓ Compagnie Bône-Guelma (BG).
- ✓ Compagnie de l'Est Algérien (EA).
- ✓ Compagnie de l'Ouest Algérien (OA).
- ✓ Compagnie Franco-Algérienne (CFA).
- ✓ Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée – Réseau d'Algérie (PLMA).

Ces compagnies assurent la construction des voies, la pose des voies, la réalisation des ouvrages d'art ainsi que l'exploitation du trafic ferroviaire. En 1876, les premiers trains de nuit apparaissent, marquant une évolution vers un service de transport plus confortable. À la fin de cette première phase (1878), le réseau atteint 1 365 km.

- **1879–1906 (extension du réseau) :**

Une deuxième vague d'investissement est lancée le 18 juillet 1879 par l'État français, visant à ajouter 1 747 km de lignes d'intérêt général. En parallèle, les lignes d'intérêt local – destinées à desservir les zones agricoles, minières ou d'accès difficile – sont laissées à la charge des collectivités territoriales et des investisseurs privés.

Entre 1879 et 1906, 2 035 km sont ainsi ajoutés au réseau ferroviaire algérien. L'ossature du réseau est renforcée, avec une meilleure couverture des Hauts Plateaux, des zones minières (notamment autour de Bône, Tébessa), et de l'intérieur du pays.

Toutefois, à la fin de cette période, plusieurs compagnies privées concessionnaires rencontrent de graves difficultés financières. Ces instabilités entraînent une crise de gestion qui marque la fin du modèle concessionnaire privé. Ainsi, la CFA perd sa concession en 1900, suivie par la BG en 1905, puis par la EA en 1906. Cette série de faillites fragilise le fonctionnement global du réseau, et ouvre la voie à une reprise progressive du système ferroviaire par l'État.

- **1906–1946 (structuration étatique) :**

En 1912, l'État français crée la Compagnie des chemins de fer algériens de l'État (CFAE) pour reprendre la gestion des lignes abandonnées par les compagnies privées. Seule la Paris-Lyon-Méditerranée en Algérie (PLMA) continue d'exister sous forme de filiale locale du PLM.

Une nouvelle campagne d'investissements entre 1907 et 1946 permet d'ajouter 1 614 km de voies supplémentaires. Le réseau atteint alors près de 5 000 km.

En 1921, les lignes sont réparties entre la CFAE et la PLMA. Cette co-gestion prend fin en 1938 avec la nationalisation des lignes d'intérêt général au sein de la Société nationale des chemins de fer français (SNCF). À partir du 1er janvier 1939, l'exploitation est confiée à l'Office des chemins de fer algériens (OCFA).

- **Situation du réseau avant 1962 :**

À la veille de l'indépendance, le réseau ferroviaire algérien est techniquement avancé. Il comprend :

- ✓ Des trains de nuit équipés de voitures-lits.
- ✓ Des rames rapides de jour en inox (style Mistral).

CHAPITRE I : GENERALITÉS

- ✓ Une généralisation de la traction diesel, contrairement à la SNCF métropolitaine qui utilise encore des locomotives à vapeur.

Le réseau comporte plusieurs types d'écartement de voie (normal, métrique, étroit), ce qui limite son interopérabilité. Néanmoins, il reste l'une des principales infrastructures de transport du pays.

I.4.2 Après l'indépendance :

- **1963–1975 (Nationalisation et transition) :**

Après l'indépendance en 1962, la Compagnie des chemins de fer français en Algérie (CCFA) est nationalisée et devient le 16 mai 1963 la Société nationale des chemins de fer algériens (SNCF). L'Algérie conserve une grande partie du matériel roulant français, tout en introduisant de nouveaux équipements achetés auprès du bloc soviétique.

En 1975, le projet ambitieux du Trans-Maghreb reliant Casablanca, Oran, Alger et Tunis est lancé avec des rames inox modernes. Ce projet est rapidement abandonné à cause de tensions politiques régionales.

- **1976–1990 (Restructuration et investissements) :**

À l'expiration de la concession française en 1976, la SNCF est dissoute et remplacée par trois entités :

- ✓ SNTF (exploitation ferroviaire).
- ✓ SNERIF (réalisation des infrastructures).
- ✓ SIF (ingénierie ferroviaire).

Un programme d'envergure est engagé : Construction de 203 km de nouvelles lignes, doublement de 200 km sur la rocade nord et renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

Mais à cause de la crise économique de 1986 entraîne la dissolution de la SNERIF et de la SIF. La SNTF reprend l'ensemble des prérogatives et devient un EPIC en 1990.

À la fin des années 1990, le réseau algérien tombe à 3 500 km, soit environ 30 % de moins qu'en 1945. La vétusté du matériel et l'absence de construction de nouvelles lignes pendant deux décennies affectent la sécurité et la performance du transport ferroviaire.

- **Modernisation et relance (2000–présent) :**

Depuis le début des années 2000, l'Algérie relance le développement de son réseau ferroviaire à travers l'ANESRIF, une agence dédiée à l'étude et au suivi des grands projets ferroviaires. Le réseau atteint 6 300 km en 2022, avec un objectif de 15 000 km à l'horizon 2030.

I.5 État actuel et perspectives de développement du réseau ferroviaire en Algérie :

Nord constitue l'axe ferroviaire principal longeant le littoral algérien sur 1250 km, dont 572 km de dessertes régionales. Elle relie 22 wilayas, de Annaba à Tlemcen, et intègre 216 gares et haltes. En assurant la connexion de 9 ports majeurs, elle renforce considérablement les échanges logistiques Nord–Sud. Par ailleurs, 433 km de lignes supplémentaires sont en cours de réalisation pour étendre cette couverture stratégique.

- **La roche des Hauts-Plateaux :**

S'étendant sur 1162 km entre Tébessa et Sidi Bel Abbès, la rocade des Hauts-Plateaux dessert 11 wilayas et intègre 56 gares et haltes. Il s'agit d'un axe moderne reliant les centres

CHAPITRE I : GENERALITÉS

intérieurs du pays. À ce jour, 944 km sont opérationnels, tandis que 218 km sont en construction, notamment le tronçon Tissemsilt–Frenda via Tiaret. Le raccordement Relizane–Tiaret viendra parachever cet ensemble dans le réseau nord.

- **La ligne minière Est :**

Longue de 422 km, cette ligne stratégique assure le transport des minerais entre Djebel el-Onk et le port d'Annaba, traversant 5 wilayas. Elle comprend 30 haltes et gares. Actuellement, 297 km font l'objet d'un doublement et de travaux de modernisation. Un complément de 152 km est en phase préparatoire pour renforcer la capacité logistique vers l'est algérien.

- **La ligne minière Ouest :**

D'une longueur de 1650 km, cette ligne vise à connecter le port d'Oran aux gisements de Gara Djebilet à Tindouf. Le tronçon Oran–Béchar (700 km) est déjà en service après modernisation et intégration de systèmes de signalisation et de télécommunication. La seconde phase, en cours de développement, couvre 950 km entre Béchar, Tindouf et Gara Djebilet, traversant cinq wilayas et incluant 12 gares et haltes.

- **Boucle Sud-Est :**

Projetée sur 425 km, cette boucle reliera les villes du centre et de l'est saharien, de Laghouat à Touggourt. En desservant cinq wilayas, elle vise à intégrer les localités sahariennes au réseau ferroviaire national. Les études techniques et de faisabilité sont en cours.

- **Boucle Sud-Ouest :**

Avec un tracé de 1500 km, cette boucle ferroviaire doit connecter les villes oasis du Sud-Ouest, de Ghardaïa à Béchar. Elle prévoit également une extension vers Bordj Badji Mokhtar, via Adrar, sur 800 km supplémentaires. Ce corridor vise à structurer la mobilité régionale dans cinq wilayas sahariennes à fort potentiel.

- **Pénétrante Centre :**

L'axe transsaharien central Alger–Tamanrasset s'étend sur 2039 km, traversant 10 wilayas. Il est conçu pour permettre des vitesses jusqu'à 220 km/h. Le tronçon Boughezoul–Laghouat est déjà mis en service. Globalement, 250 km sont opérationnels, 639 km ont été étudiés et 1050 km sont en phase d'étude pour compléter cet axe structurant.

- **La Pénétrante Est :**

Cette ligne de 418 km relie les ports de Skikda et Djendjen au complexe pétrolier de Hassi Messaoud. Le tronçon El Gourzi–Touggourt (264 km) est en service, équipé de systèmes modernes de signalisation. Les 154 km restants sont en construction et permettront aux trains de circuler à 220 km/h. Le parcours traverse 7 wilayas et comprend 54 haltes et gares.

I.6 Avantages des transports ferroviaires :

- Capacité élevée : un seul train peut remplacer plus de dix camions, ce qui en fait une solution idéale pour le transport en grande quantité.
- Mode de transport collectif : adapté au fret à grande échelle, aussi bien sur le territoire national qu'à l'international.
- Rentabilité :

CHAPITRE I : GENERALITÉS

- ✓ Environ dix fois moins coûteux que le transport par avion.
- ✓ Bien que plus onéreux que le transport maritime, il reste plus rapide.
- Faible impact environnemental : les émissions de CO₂ sont nettement réduites par rapport aux autres moyens de transport.
- Efficacité : permet de parcourir de longues distances plus rapidement que la route ou la mer, seul l'avion est plus rapide.
- Adaptabilité : les trains peuvent être configurés en fonction des besoins grâce à l'ajout ou le retrait de wagons.
- Fiabilité : le transport ferroviaire présente un très faible taux d'accidents, ce qui en fait l'un des moyens les plus sûrs.

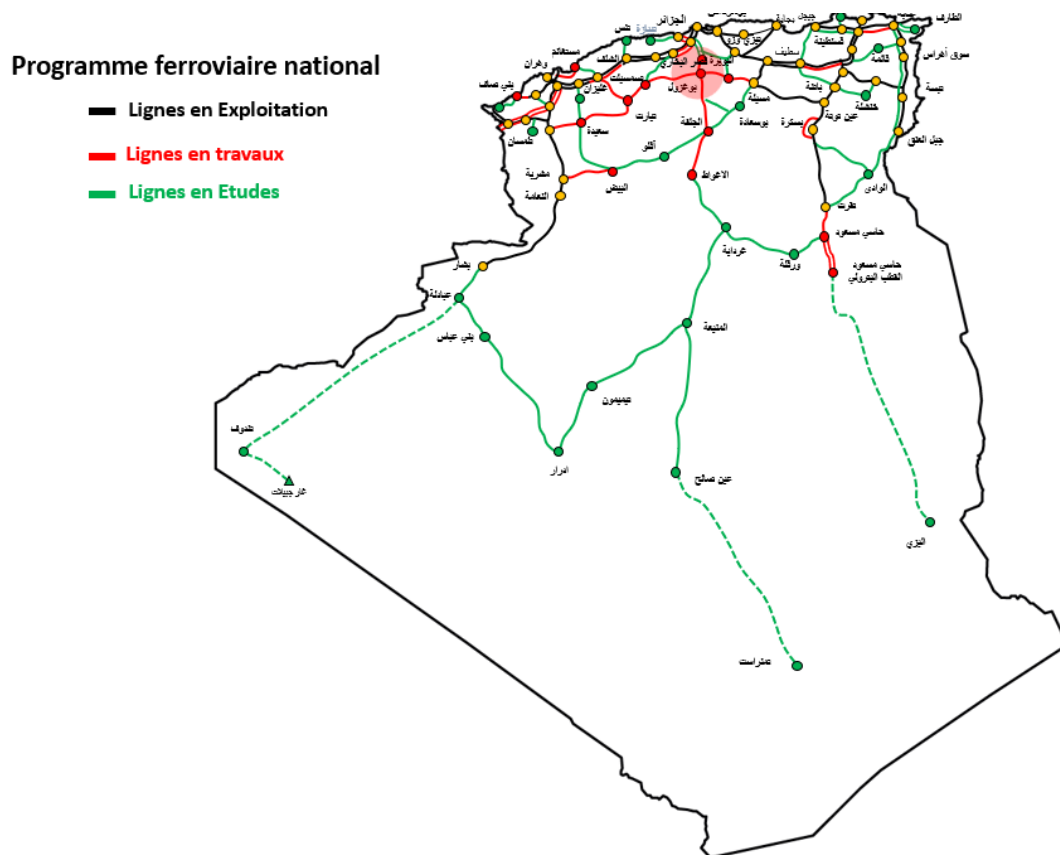


Figure I-1 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie.

I.7 Conclusion :

L'Algérie s'inscrit aujourd'hui dans une dynamique ambitieuse de modernisation et d'expansion de son réseau ferroviaire, pour objectif de devenir un acteur majeur du transport ferroviaire en Afrique. Grâce à des investissements soutenus, une planification stratégique et l'adoption de technologies modernes, le pays renforce la performance, la sécurité et la durabilité de ses infrastructures ferroviaires. Cette transformation structurelle s'intègre pleinement dans une vision de mobilité verte et de développement équilibré, consolidant le rail comme un pilier de la compétitivité économique et de la cohésion territoriale à l'échelle nationale et régionale.

CHAPITRE II

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE II. PRÉSENTATION DU PROJET :

II.1 Introduction :

Le projet de la voie ferrée Ksar El Boukari – Boughezoul compte parmi les grands chantiers lancés dans la wilaya de Médéa en 2025. Il est inscrit au programme complémentaire de développement du secteur des transports, compte tenu de son impact sur le développement local et l'emploi dans la région.

II.2 Présentation du site :

Boughezoul est une commune de la wilaya de Médéa, en Algérie, située dans la région du Titteri et rattachée administrativement à la daïra de Chahbounia. Elle couvre une superficie de 448 km² et se situe à une altitude d'environ 625 mètres. Occupant une position stratégique au cœur des Hauts Plateaux, Boughezoul connaît un développement significatif grâce aux projets d'aménagement et au renforcement de ses infrastructures.



Figure II-1 : Plan de situation.

II.3 Le relief :

Le relief de Boughezoul dans la wilaya de Médéa se caractérise par des hauts plateaux steppiques s'élevant entre 600 et 700 mètres, avec un climat semi-aride. La région est également dominée par un grand lac de barrage d'environ 1 200 hectares, qui constitue un élément important de l'environnement local.

II.4 Le climat :

Boughezoul a un climat de steppe. Il y a peu de précipitations, quel que soit la période de l'année, à Boughezoul. La classification de Köppen-Geiger est de type BSk. Boughezoul affiche 15.8 °C de température en moyenne sur toute l'année. La moyenne des précipitations annuelles atteintes 249.4 mm.

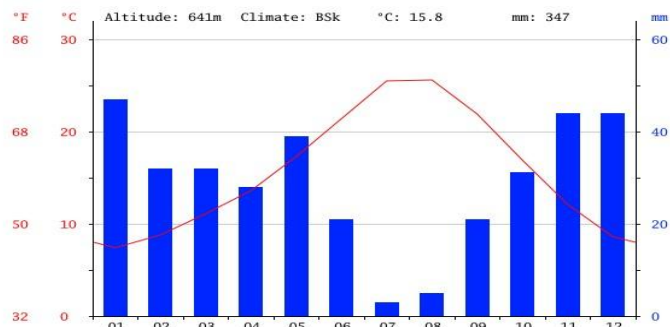


Figure II-2 : Diagramme climatique de boughzoul.

II.5 Sismicité :

Conformément au Règlement Parasismique Algérien (RPA 2024), le territoire national est divisé en sept (07) zones de sismicité croissante, numérotées de 0 à VI

- ✓ Selon l'Annexe du **RPA 2024**, qui classe les wilayas et les communes en fonction de leur niveau de sismicité, la wilaya de **Médéa**, dans laquelle se situe la zone d'étude (**Boughezoul** et Une partie de la **Chahbounia**), est classée en **Zone II** ce qui correspond à une Sismicité **faible à moyenne**. Tel que le coefficient d'accélération de zone est **A= 0.10**.

II.6 Présentation du projet étudié :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous présentons une étude en **Avant-Projet Détaillé (APD)** d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Ksar El Boukhari à Boughezoul, s'étendant sur un linéaire total de 42 km. Cette ligne est destinée au transport mixte, assurant à la fois les trafics voyageurs et marchandises.

Le tronçon objet de notre étude se développe du PK 28+500 au PK 41+892, soit une longueur d'environ 13,400 km, en direction de Boughezoul.

Le projet comprend également la conception de la gare de Boughezoul, implantée entre le PK 41+892 et le PK 43+892. Cette gare a pour objectif d'assurer la régulation du trafic ferroviaire, de permettre le croisement des convois et d'améliorer la capacité d'exploitation de cette ligne à usage intensif.

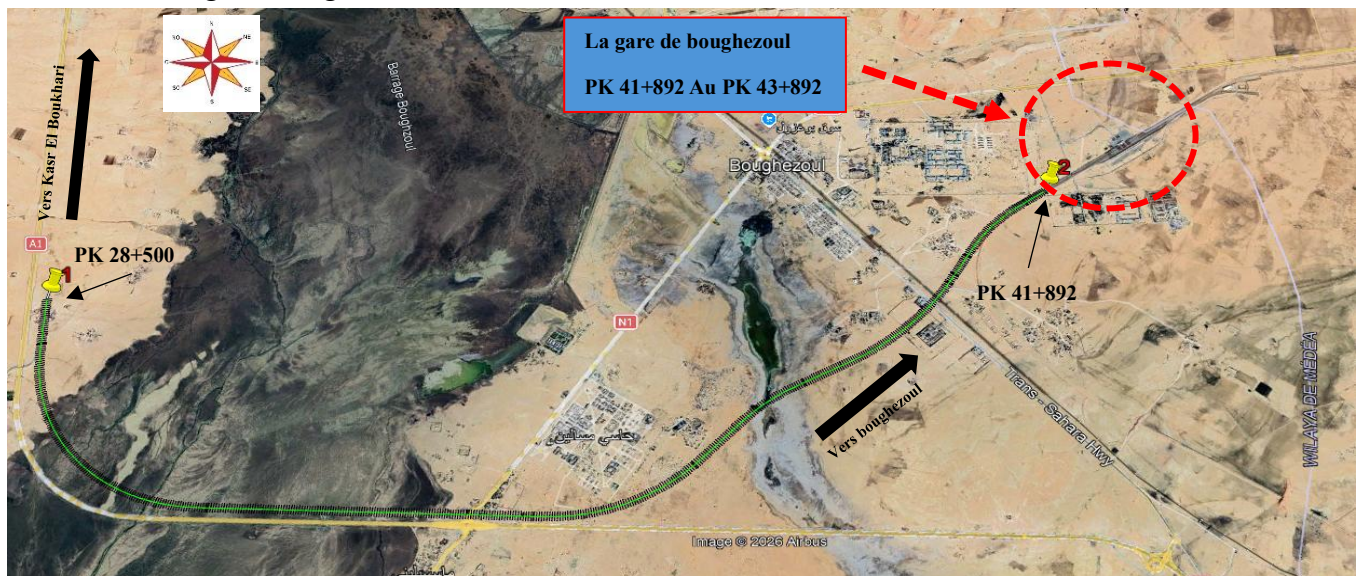


Figure II-3 : Photo illustrative du projet Ksar El Boukhari - Boughezoul sur Google Earth.

II.7 Objectif de projet :

- Réalisation d'une ligne ferroviaire stratégique de 42 km, avec des travaux de terrassement et de réaménagement, afin de relier le nord du pays au Grand Sud.
- Dynamisation de l'économie locale et soutien à la création de nouveaux pôles de croissance, notamment autour de la ville de Boughezoul.
- Réduction de la dépendance au transport routier et diminution des émissions de CO₂ grâce à la promotion du transport ferroviaire.
- Intégration du projet dans la boucle ferroviaire de 1 500 km reliant les villes-oasis du sud-ouest.
- Renforcement du transport des voyageurs et des marchandises et structuration du réseau ferroviaire national.

II.8 Caractéristiques du projet :

Tableau II-1 : Caractéristiques du projet.

Caractéristiques	
Longueur de tracé	13.400 km
Trafic	Mixte, marchandises, voyageurs
Écartement de la voie	1435 mm
Type de rail	UIC60E1
Type de traverse	Monobloc type EN BP M450
Type d'attache	Vossloh
Ligne	Double voie
Ouvrage d'art	Pour double voie
Largeur de la plateforme	13.60 m pour double voie
Longueur de la Gare	2 km
Appareil de voie utilisé	UIC60-E1-500-1/12
Vitesse marchandises	100 Km/h
Vitesse voyageur	220 Km/h
Mode de traction	Diesel
Charge à l'essieu pour les voies	22.5 t
Charge à l'essieu pour les OA	25.0 t

II.9 Conclusion :

Le projet de la ligne ferroviaire reliant Ksar El Boukhari à Boughezoul constitue un investissement stratégique majeur s'inscrivant dans la politique de modernisation des infrastructures de transport. Il contribuera à désenclaver la région, à améliorer la mobilité des voyageurs ainsi que le transport des marchandises, et à stimuler le développement économique et social local, tout en favorisant une meilleure intégration territoriale à l'échelle nationale.

CHAPITRE III

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

CHAPITRE III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE :

III.1 Introduction :

La superstructure de la voie est constituée par un assemblage d'éléments fixes qui distribuent et transmettent les charges de trains uniformément à la plateforme et permettent d'assurer le bon guidage des wagons à leur trajectoire.

Pour ce projet, la voie est constituée de longs rails soudés en barres continues, posés avec des attaches sur des traverses monobloc en béton précontrainte et de ballast.

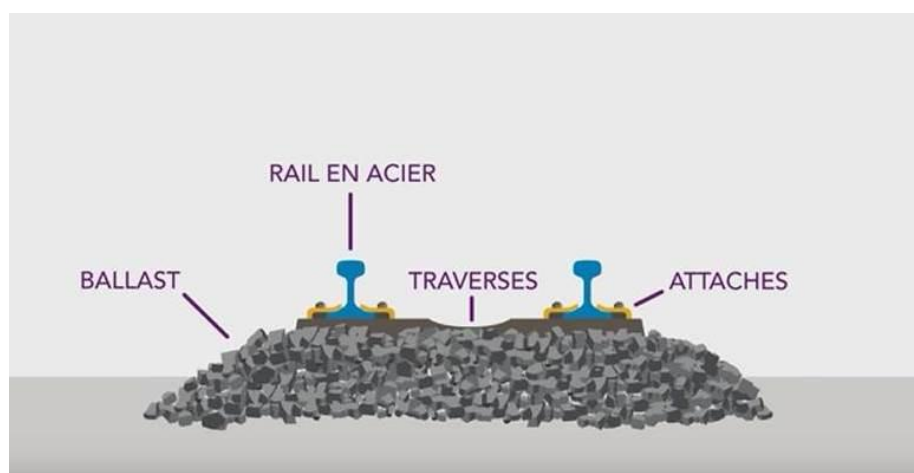


Figure III-1 : Les constituants de la voie ferrée.

III.2 Le rail :

Les rails, généralement en acier, sont les éléments sur lesquels circulent les trains. Ils assurent à la fois le guidage des roues et résistent à l'usure ainsi qu'aux contraintes mécaniques générées par le passage des trains. Pour minimiser ces effets, les rails sont souvent soudés pour former des Longs Rails Soudés (LRS). Ce procédé consiste à souder plusieurs segments de rails, mesurant entre 18 et 36 mètres chacun, pour créer des sections continues d'au moins 288 mètres. Cela permet de réduire le nombre de joints et, par conséquent, l'usure.

Les LRS offrent de nombreux avantages, tels que la réduction des vibrations, une amélioration du confort de roulement, et une augmentation de la durabilité de la voie en diminuant les points de faiblesse liés aux connexions traditionnelles.

Il existe trois types de rails utilisés dans les systèmes ferroviaires :

- Les rails à double champignon (modèle ancien).
- Les rails Vignole.
- Les rails à gorge (utilisés dans les tramways).



Figure III-2 : Rail type Vignole.

Pour assurer la continuité des LRS, les joints doivent être soudés de façon durable afin de supporter les efforts mécaniques et thermiques. Cette opération se fait à l'aide de procédés de soudage adaptés aux exigences spécifiques.

Deux procédés sont principalement utilisés pour assembler les rails :

- **Soudage aluminothermique** : Ce procédé repose sur une réaction chimique

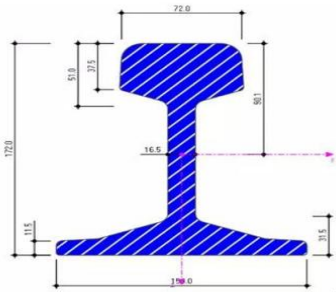
entre la poudre de l'aluminium et l'oxyde de fer, produisant un métal en fusion. Ce dernier est versé dans un moule placé autour des extrémités des rails, les soudant après refroidissement. Le surplus est ensuite meulé pour rétablir le profil du rail.

- **Soudage électrique** : Cette méthode utilise un courant électrique pour chauffer les extrémités des rails jusqu'à leur fusion. Une pression est ensuite appliquée pour les assembler. Elle permet d'obtenir une soudure de haute qualité, souvent utilisée en milieu contrôlé ou mécanisé.

Dans le cadre de ce projet, le rail utilisé est du type **Vignole UIC 60 E1 (60,21 kg/m)**, destiné à la voie principale.

Les caractéristiques des rails de ce type sont les suivantes :

Tableau III-1 : Les caractéristiques de rail type UIC 60 E1.

Rail profile 60 E1	Les caractéristiques	UIC 60
 Figure III-3 : Rail profile UIC 60 E1.	Norme de fabrication	EN 13674-1
	Nuance d'acier	Acier en carbone (R260)
	Poids linéaire	(60,21 kg/m)
	La surface de la section	76.70 cm ²
	Hauteur du rail	172 mm
	Largueur du champignon	72 mm
	Largueur du patin	150 mm

III.3 Les traverses :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail, elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails.

Le nombre de traverses par kilomètre est généralement de **1 666 traverses /km**, il existe deux types de traverses en béton :

- **Bi-bloc** : traverse constituée de deux blocs en béton reliés par une entretoise métallique (généralement en acier), qui assure le maintien de l'écartement des rails. Ce type de traverse combine la rigidité du béton avec une certaine souplesse transversale grâce à l'entretoise, ce qui le rend adapté aux voies soumises à des variations de température ou à des mouvements de terrain.



Figure III-4 : Traverse bi-bloc.

- **Monobloc** : une poutre en béton précontraint, offrant une meilleure résistance à la flexion que la traverse Bi-bloc, avec une répartition plus uniforme des charges

verticales. Ce modèle assure une meilleure stabilité de la voie et une durabilité accrue, notamment sur les lignes à fort trafic ou à grande vitesse.



Figure III-5 : Traverse monobloc en BP.

Pour ce projet, le choix s'est porté sur la traverse Monobloc.

III.4 Les attaches :

Le système d'attache permet de maintenir le rail solidairement à la traverse, tout en assurant une certaine élasticité pour absorber les efforts verticaux, latéraux et longitudinaux.

Dans le cadre de ce projet, et pour répondre aux exigences d'un fort trafic (charge à l'essieu de 22,5 t) un système d'attache **Vossloh**. Ce système est associé à une semelle en élastomère d'environ 9 mm d'épaisseur, permettant une meilleure répartition des efforts, une isolation vibratoire et une protection efficace de la traverse contre les sollicitations dynamiques.

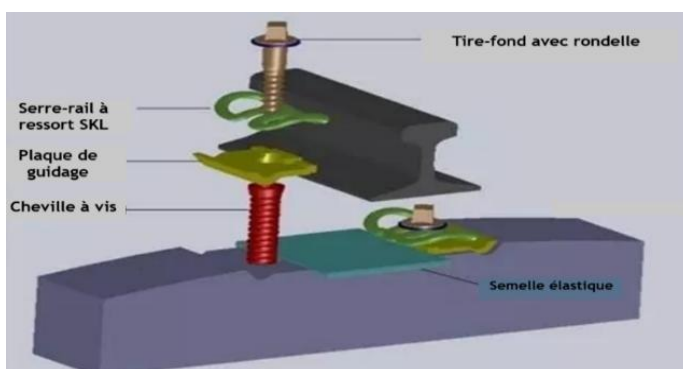


Figure III-6 : Composition de l'attache Vossloh.

III.5 Le ballast :

La couche de ballast est disposée sous les traverses, son épaisseur est de 300 mm à l'aplomb du rail en pleine voie. La couche de ballast a les fonctions suivantes :

- Assurer, en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales
- Constituer un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques
- Permettre, au moyen du bourrage-dressage mécanisé, la rectification très rapide du nivellement et du tracé.

Le ballast est constitué de concassés de pierres dures de calibre 25/50 provenant des carrières identifiées pour l'exécution du projet. Le ballast doit respecter les valeurs du fuseau de contrôle. Le ballast mis en voie doit être exempt de gangue, poussières, sables fins et débris. Au besoin, il aura été lavé et dépoussiéré.

III.6 Les caténaires :

Le système de caténaire est un dispositif de distribution d'énergie électrique destiné à l'alimentation des trains. Il se compose principalement d'un fil de contact en cuivre, suspendu à une hauteur constante au moyen de pendules et relié à un câble porteur. Ce câble est lui-même soutenu par des consoles fixées aux supports (poteaux). L'ensemble permet le captage continu du courant par le pantographe du train, assurant ainsi une alimentation stable en courant électrique. Ce système requiert une grande précision dans le réglage des hauteurs, tensions mécaniques et géométries pour garantir un contact optimal, même à grande vitesse.

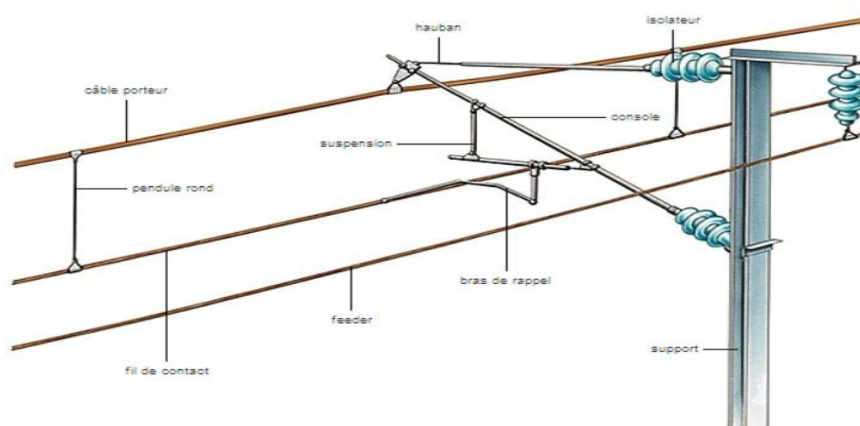


Figure III-7 : Caténaire.

III.7 Les appareils de voie :

III.7.1 Définition :

Les appareils de voie sont des dispositifs permettant au matériel roulant, soit de passer d'une voie sur une autre, soit de traverser une voie.

III.7.2 Types d'appareils de voie :

Parmi les appareils de la voie, on distingue :

III.7.2.1 Les branchements :

Un branchement est un dispositif permettant au matériel roulant de passer d'une voie à une autre avec une continuité géométrique. Il est défini par un angle de déviation et une courbe de raccordement assurant un roulement sans à-coups. Il est composé de trois éléments fonctionnels :

- **Aiguille** : Lames mobiles orientant le train vers la voie directe ou déviée.
- **Partie intermédiaire** : Zone fixe avec contre-rails assurant la transition entre l'aiguille et le croisement.
- **Croisement** : Intersection des rails, à pointe fixe ou mobile, selon les vitesses et charges admises.

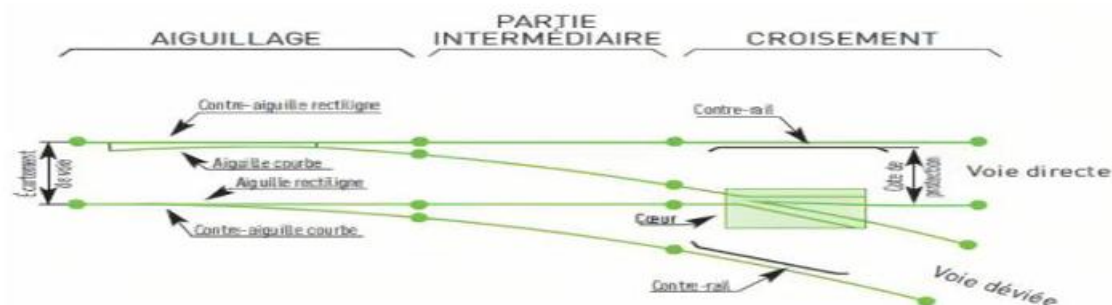


Figure III-8 : Schéma illustratif d'un appareil de voie.

III.7.2.2 Les traversées jonctions :

Traversée-Jonction Simple (TJS) /Traversée - Jonction Double (TJD) : Est une intersection de deux itinéraires combinés avec la possibilité d'un / de deux branchements.

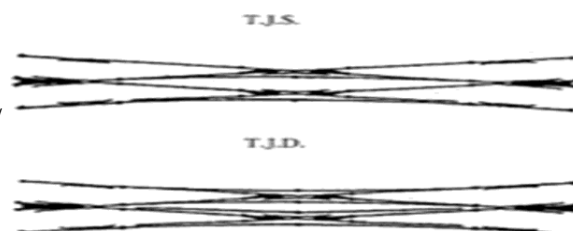


Figure III-9 : Traversée-jonction S et D.

III.7.2.3 Les traversées Oblique :

Traversée Oblique Ordinaire /Traversée Oblique Combinée : Permettent l'intersection de deux itinéraires.

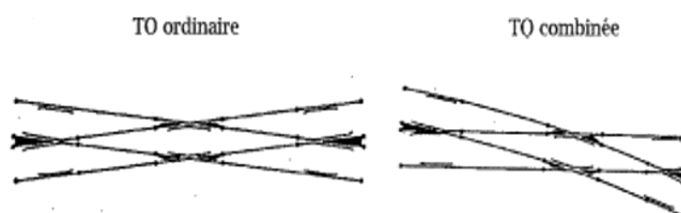


Figure III-10 : Traversée- oblique ordinaire/combinée.

III.8 Conclusion :

La superstructure de la voie joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du chemin de fer. Elle garantit la stabilité, la sécurité et le confort de circulation. Ce chapitre a permis de présenter les principaux composants de l'armement de voie (rails, traverses, attaches, ballast), ainsi que l'organisation et le phasage des travaux de pose. Grâce à des choix techniques adaptés et une mise en œuvre conforme aux normes, la voie est désormais apte à supporter le trafic intense prévu sur notre ligne ferroviaire dans de bonnes conditions d'exploitation.

CHAPITRE IV

LA GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

CHAPITRE IV. LA GÉOMÉTRIE DE LA VOIE :

IV.1 Introduction :

L'étude de géométrie de la voie est une étape clé et indispensable à la conception des lignes performante et sécurisées. Cette démarche s'appuie sur des différentes normes. Elle vise à déterminer la configuration idéale de la voie en analysant des paramètres essentiels, afin d'assurer un roulement fluide des trains.

IV.2 Trace En Plan :

Le tracé en plan se compose de la succession des alignements droits et courbes circulaires (plaines courbes et courbes de transition), il est caractérisé par deux vitesses :

- V_v : Vitesse des trains rapides (voyageurs).
- V_m : Vitesse des trains lentes (marchandises).

Ces vitesses conditionnent la conception de la trace en plan en modulant la géométrie des courbes et des alignements pour assurer les conditions de circulation optimales pour les trains des voyageurs et aussi les trains des marchandises.

IV.2.1 Critères de limitation des paramètres de trace en plan :

Dans le but de sécuriser et de rendre confortable le voyage des voyageurs et de garantir la stabilité de la voie, les valeurs de certains paramètres géométriques du tracé sont limitées. Pour ces raisons, chaque critère mis en place pour chaque paramètre est :

- **Les valeurs limites normales :**

Il s'agit de la valeur à ne pas dépasser pour assurer une circulation sécurisée des trains aux vitesses maximales et minimales autorisées.

- **Les valeurs limites exceptionnelles :**

Cette valeur, plus contraignante que la valeur limite normale, s'applique dans des cas particuliers. Par exemple, lors de travaux de modernisation d'une ligne, il peut être nécessaire de tolérer des écarts dépassant les valeurs normales afin d'éviter des modifications structurelles gênantes, tout en maintenant un niveau de sécurité acceptable.

IV.2.2 Les conditions et les règles à respecter dans la trace en plan :

- Eviter de passer sur des terrains agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques. Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droits et respecter la longueur minimale.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz, des transformateurs électriques.

IV.2.3 Les éléments du tracé en plan :

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements droits courbes de raccordements et des arcs de cercles.

- **Les Alignements** : Un tracé droit de rayon infini, considéré comme le meilleur tracé pour le confort, la sécurité et une stabilité de trace.
- **Arc de cercle** : La liaison entre les alignements droits se fait avec des courbes avec des rayon précise.
- **Courbe de raccordement** : Un élément géométrique permet de raccorder entre un alignement et une courbe, deux courbes de même sens avec rayons différents ou entre une courbe et contre courbe. Elle donne la possibilité de passer progressivement d'un rayon infini (alignement) vers un rayon constant (arc de cercle). L'utilisation de raccordement progressif dépend de certain condition précises (gauchissement et du confort dynamique).

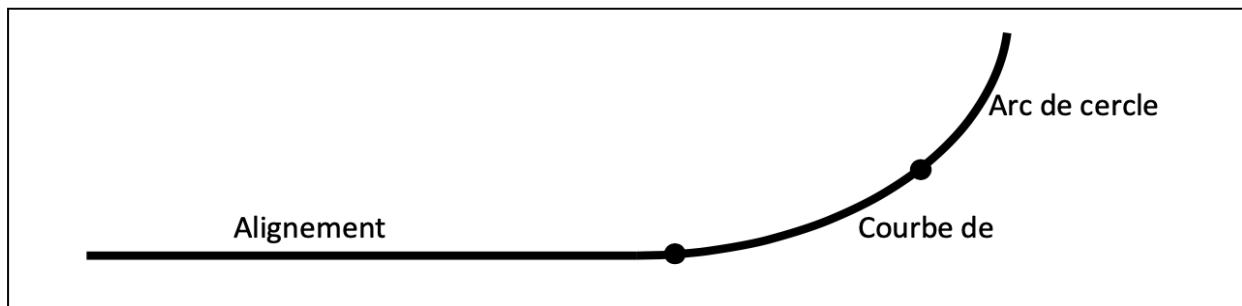


Figure IV-1 : Éléments constitutifs de l'axe en plan.

IV.2.4 Les paramètres géométriques de la trace :

Les paramètres géométriques applicables selon IN0272, à la nouvelle ligne ferroviaire Kasr El Boukhari – Boughezoul – Gara Boughezoul avec une vitesse maximale de 220 km/h et une vitesse minimale de 100 km/h :

IV.2.4.1 Le devers :

C'est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie, il est obtenu en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur, il sert à compenser la force centrifuge exprimé en [mm]. (Dans l'alignement droit le devers est nul).

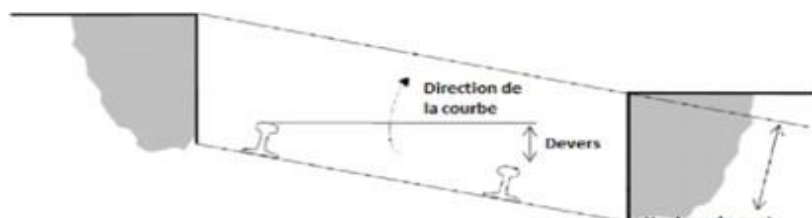


Figure IV-2 : Devers installer pour une voie en courbe.

IV.2.4.1.1 Devers théorique (d_{th}) :

C'est l'inclinaison latérale de la voie destinée à compenser la force centrifuge. Son calcul fait en fonction de la vitesse maximale de la voie. Sa formule :

Tableau IV-1 : Calcul du devers théorique et ses paramètres.

Formule	Paramètre
$d_{th} = \frac{11.8 \times V_{Max}^2}{R}$	d_{th} : Devers théorique en (mm) V_{Max} : La vitesse maximale de la ligne (Km/h) R : Rayon de la courbe (m)

IV.2.4.1.2 Devers pratique (d_p) :

Dans le cas de trafic mixte où la nature et la vitesse des train sont différent, l'application du devers théorique est impossible. Pour cela il faut introduire la notion de devers pratique. Pour réduire risque de déraillement. Sa formule :

Tableau IV-2 : Calcul du devers pratique et ses paramètres.

Formule	Paramètre
$d_p = \frac{1000 \times C}{R}$	d_p : Devers pratique (mm) [doit être $0.5 d_{th} \leq d_p \leq 0.7 d_{th}$] R : Rayon de la courbe (m) C : Coefficient de dévers. [doit être multiple de 15] La formule de calculs de C avec : $C = 0.006 \times V_{Max}^2$ Avec : V_{Max} : La vitesse maximale de la ligne.

IV.2.4.1.3 Devers maximum admissible :

Pour les projets avec une vitesse : $V \leq 220 \text{ Km/h}$ selon IN0272, les valeurs du dévers maximal sont fixées :

Tableau IV-3 : Valeurs admissibles de devers.

D_{Max}	Valeurs (mm)
Valeur normal	160
Valeur exceptionnelle	180

IV.2.4.1.4 Insuffisances de devers (I) :

C'est la différence entre le devers théorique des trains rapides et devers pratique. Cette différence est une force latérale non compensée qui pouvant occasionner un déraillement à grand vitesse. La formule de calcul.

Tableau IV-4 : Calcul du l'insuffisance de dévers et ses paramètres.

Formule	Paramètre
$I = d_{th} - d_p = \frac{11.8 \times V_v^2}{R} - d_p \leq I_{max}$	I : L'insuffisance de devers (mm). I_{max} : La valeur limites de l'insuffisance de devers (mm) d_p : Devers pratique (mm) d_{th} : Devers théorique en (mm) R : Rayon de la courbe (m) V_v : Vitesse des trains rapide (voyageurs)

Selon IN0272, en plein courbe et pour une vitesse $V \leq 220 \text{ Km/h}$:

Tableau IV-5 : Valeur limites de l'insuffisance de dévers.

I	Valeurs (mm)
Valeur normal	150
Valeur exceptionnelle	160

IV.2.4.1.5 Excès de dévers :

Quand le train de marchandises, circule lentement en courbe, il perçoit dévers mise en place pour le train rapide comme une excès de dévers notée « E ». Cela signifie que dévers de la voie est excessive par rapport à la vitesse du train. Dans ce contexte, le Train est soumis à une force centripète non compensée, ce qui provoque une résultante des forces se dirigeant vers l'intérieur de la courbe. La formule de calcul :

Tableau IV-6 : Calcul du l'excès de dévers et ses paramètres.

Formule	Paramètre
$E = d_p - d_{th} = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} \leq E_{max}$	E : L'excès de dévers (mm). E_{max} : La valeur limites de l'excès de dévers (mm). d_p : Devers pratique (mm) d_{th} : Devers théorique en (mm) R : Rayon de la courbe (m) V_m : Vitesse des trains lents (marchandise)

Pour limite l'effet de la force de centripète non compensée, Selon **IN0272**, pour une vitesse $V \leq 220 \text{ Km/h}$:

Tableau IV-7 : Valeur limites de excès de dévers.

E	Valeurs (mm)
Valeur normal	110
Valeur exceptionnelle	130

IV.2.4.1.6 La variation de l'insuffisance de dévers :

Représente le rythme auquel varie l'insuffisance de dévers au fil du temps notée $\frac{\Delta I}{\Delta T}$. Elle évalue la rapidité du changement de l'insuffisance de dévers pendant que le train progresse à une certaine allure sur une courbe. Sa formule est donnée par :

Tableau IV-8 : Formule et paramètres de la variation de l'insuffisance de dévers.

Formule	Paramètre
$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I \times V}{3.6 L_{rp}}$	I : L'insuffisance de dévers (mm). L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m) V_{Max} : La vitesse (Km/h)

Pour les grands vitesse les valeurs limites :

Tableau IV-9 : Valeurs limites admissibles de la variation de l'insuffisance de devers.

$\Delta I / \Delta T$	Valeurs (mm/s)
Valeur normal	75
Valeur exceptionnelle	90

IV.2.4.1.7 Variation de devers dans les courbes de transition en fonction de longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$:

La longueur des courbes de transition dépendra du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible. Cette variation est donnée par la formule suivante :

Tableau IV-10 : Formule et paramètres de la variation de devers en fonction de longueur.

Formule	Paramètre
$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{d_p}{L_{rp}}$ En (mm/m)	d_p : Devers pratique (mm) L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m).

IV.2.4.1.8 Variation de devers dans les courbes de transition en fonction du temps $\frac{\Delta d}{\Delta T}$:

Cette transition est habituellement restreinte pour garantir un passage en douceur entre les différentes sections de la voie, afin d'éviter des modifications abruptes de l'inclinaison latérale et par conséquent préserver l'équilibre du train. La formule de calculs de $\frac{\Delta d}{\Delta T}$:

Tableau IV-11 : Formule et paramètres de la variation du devers en fonction du temps.

Formule	Paramètre
$\frac{\Delta d}{\Delta T} = \frac{d_p \times V_{Max}}{3.6 \times L_{rp}}$ En (mm/s)	d_p : Devers pratique (mm) L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m) V_{Max} : La vitesse maximale de la ligne (Km/h)

La variation de devers en fonction de temps $\frac{\Delta d}{\Delta T}$ en fonction de longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$ doit satisfaire à deux conditions selon **IN0272**.

Tableau IV-12 : Limite de la variation de divers.

1 ^{ère} condition				2 ^{ème} condition	
En fonction de la vitesse des trains rapides.				En fonction de rayon et devers de la courbe adjacente.	
Valeur normal		Valeur Exceptionnelle		Valeur du devers en plein courbe [dp en (mm) et R en (m)]	Valeur limite de la variation de devers en (mm /m)
Par rapport la longueur $\Delta d/\Delta L$	Par rapport au temp $\Delta d/\Delta L$	Par rapport la longueur $\Delta d/\Delta L$	Par rapport au temp $\Delta d/\Delta L$	$\frac{R-100}{2} \geq d_p \geq \frac{R-150}{2}$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 2\text{mm/m}$

180/V _{Max}	50mm/s	216/V _{Max}	60mm/s	$\frac{R-150}{2} \geq d_p \geq \frac{R-250}{2}$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 3\text{mm/m}$
				$\frac{R-250}{2} \geq d_p$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 4\text{mm/m}$

IV.2.4.2 Rayon minimal :

Il représente le rayon de la courbe la plus serrée du tracé que le train peut passer en toute sécurité. La formule de calculs de rayon minimal :

$$R_{min} \leq \frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}} \Rightarrow R_{min} \leq 1842.32 \text{ m}$$

- R_{min} : Rayon minimum (m).
- V_{max} : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (220 km/h).
- V_{min} : Vitesse des trains lent (marchandise) (100 km/h).
- d_{max} : Dévers maximal (160 mm).
- I_{max} : Insuffisance de dévers maximal (150 mm).

Pour une circulation à 220 Km/h, le rayon minimum calculé $R_{min} = 1842.32 \text{ m}$ qui sera arrondi à 1875 m, correspondant au dévers maximal normal de 160 mm et à une insuffisance de dévers de 110 mm.

IV.2.4.3 Longueur minimale des éléments de trace :

Il est nécessaire de respecter les longueurs minimales des alignements dans les différentes positions, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-13 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.

RP	Courbes avec RP et doucines		Courbes avec RP sans doucines	Courbes sans RP
Valeur limite normale	V/2	110 m	V/3	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3	73.33 m	V/5	V/2.5

✓ **Doucine :**

C'est un raccordement circulaire utilisé pour limiter l'accélération du mouvement de roulis au changement de pente du rail haut et pour assurer le confort et éviter le choc lors de passage de trains entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP). ET lorsque les trains de voyageurs ont une vitesse égale ou supérieure à 60 km/h, et qu'il y a une variation considérable du dévers.

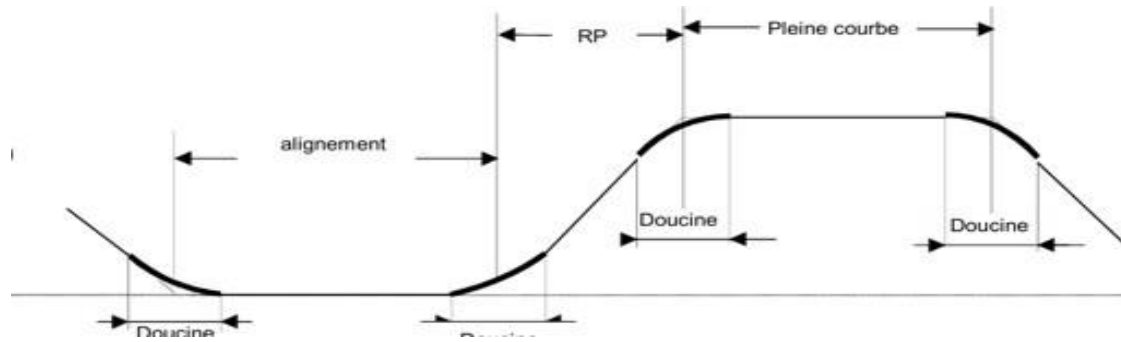


Figure IV-3 : Les éléments de trace en plan.

IV.2.5 Application au projet :

➤ Paramètres géométriques du tracé :

Tableau IV-14 : Paramètres géométriques du tracé en plan.

Les valeurs	Normal	Exceptionnelle
Dévers max	160 mm	180mm
Insuffisance de dévers	150 mm	160 mm
Excès de dévers	110 mm	130mm
Rayon minimale	1875 m	/
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	75 mm/s	90 mm/s
Variation de dévers en fonction de la longueur	$\frac{180}{v} = 0.82$ mm/m	$\frac{216}{v} = 0.98$ mm/m
Variation de dévers en fonction du temps	50 mm/s	60 mm/s

➤ Les calculs :

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 2000 m, pour illustrer les différentes étapes :

• Dévers théorique:

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_{Max}^2}{R} = \frac{11.8 \times 220^2}{2000} = 285.56 \text{ mm}$$

• Coefficient de dévers :

$$C = 0.006 \times V_{Max}^2 = 0.006 \times 220^2 = 290.4$$

La valeur de C doit être multiple de 15 : $C_{adopté} = 300$

$$\text{Vérification de C : } 0.5 < \frac{C}{0.0118 \times V_{Max}^2} = \frac{300}{0.0118 \times 220^2} = 0.53 < 0.7$$

Donc C=300 est vérifier.

• Le dévers pratique :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 300}{2000} = 150 \text{ mm} < d_{Max} = 160 \text{ mm}$$

Donc c'est vérifier.

CHAPITRE IV : GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

- **Insuffisance de dévers :**

$$I = d_{th} - d_p = 285.56 - 150 = 135.56 \text{ mm} < I_{Max} = 150 \text{ mm}$$

Donc c'est vérifier.

- **Excès de dévers :**

$$E = d_p - d_{th} = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} = 150 - \frac{11.8 \times 100^2}{2000} = 91 \text{ mm} < E_{Max} = 110 \text{ mm}$$

Donc c'est vérifier.

- **Longueur de raccordement progressif L_{rp} :**

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{d_p}{L_{rp}} = \frac{180}{V_{max}} \rightarrow L_{rp} = \frac{d_p \times V_{max}}{180} = \frac{150 \times 220}{180} = 183.33 \text{ m}$$

L_{rp} (adopté) = 190 m .

- **La variation de l'insuffisance de devers :**

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I \times V}{3.6 L_{rp}} = \frac{135.56 \times 220}{3.6 \times 190} = 43.60 \text{ mm/s} < 75 \text{ mm/s} \text{ donc c'est vérifier.}$$

- **Variation de devers dans les courbes de transition en fonction de longueur :**

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{d_p}{L_{rp}} = \frac{150}{190} = 0.79 \text{ mm/m} < 0.82 \text{ mm/m} \text{ donc c'est vérifier.}$$

- **Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction du temps :**

$$\frac{\Delta d}{\Delta T} = \frac{d_p \times V_{Max}}{3.6 \times L_{rp}} = \frac{150 \times 220}{3.6 \times 190} = 48.25 \text{ mm/s} < 50 \text{ mm/s} \text{ donc c'est vérifier.}$$

Dans le cadre de notre projet on a utilisé 4 rayons $R_1 = 2000 \text{ m}$, $R_2 = 2900 \text{ m}$. Les résultats récapitulatifs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV-15 : Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan.

	Rayons (m)		Vérification
	2000	2900	
V_v (Km/h)	220	220	-
V_m (Km/h)	100	100	-
d_{th} (mm)	285.56	169.94	-
C	290.40	290.40	-
$C_{adopté}$	300	300	-
Vérification de C	0.53	0.53	$0.5 < C < 0.7$
d_p (mm)	150	103.44	-
$d_{p \text{ adopté}}$ (mm)	150	110	< 160
I (mm)	135.56	86.94	< 150
E (mm)	91	69.31	< 110
L_{rp} (m)	183.33	134.44	-
$L_{rp \text{ adopté}}$ (m)	190	140	-

CHAPITRE IV : GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

$\Delta I / \Delta T$ (mm/s)	43.60	37.95	<75
$\Delta d / \Delta L$ (mm/m)	0.79	0.79	<0.82
$\Delta d / \Delta T$ (mm/s)	48.25	48.02	<50

IV.2.6 Les contraintes le long du tracé :

Le tableau suivant illustre les diverses contraintes présentes sur notre tracé :

Tableau IV-16 : Contraintes du tracé.

Obstacle à franchir		Pk	Ouvrage Projeté / mesures Prévues
Intersection avec des routes	CC	29+110	Passages inférieurs
	RN 40	34+550	
	RN 01	39+912	
Croisement Oued	Oued Athmane	30+385	Ouvrages hydrauliques (Pont)
	Oued khanaget	31+544	
	Oued Touil	33+165	
	Daïet El Kahla	37+819	
Ligne électrique moyennes tension MT.		28+766	La possibilité de déplacer ou de protéger
		28+831	
		34+144	
Lignes électriques basses tension BT		33+933	
		33+935	
		33+938	
Bâtis		28+896 au 28+919	À supprimer

IV.3 Profil en long :

IV.3.1 Introduction :

Le profil en long est une coupe verticale fictive passant par l'axe de la voie, développée et représentée sur un plan avec une échelle. Il est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires.

IV.3.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Le profil en long est établi sur l'axe de l'ouvrage dans la zone souterraine, et prolongé de tel façon qu'on assure la même pente de la sortie du tunnel vers la zone aérienne. Et pour le bon tracé du profil en long il faut respecter les règles suivantes :

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à certaines règles.
- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- Ne pas dépasser les déclivités maximales.
- Respecter les pentes minimales pour assurer un bon écoulement des eaux.
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.

CHAPITRE IV : GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

- Eviter les hauteurs excessives en remblai et respecter les hauteurs maximales en déblai.

En voie ferrée, on recherche toujours à avoir les paliers dans le tracé pour faciliter la traction du train.

IV.3.3 Eléments géométriques du profil en long :

IV.3.3.1 Les alignements droits :

IV.3.3.1.1 Déclivité Maximale :

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (puissance des véhicules en rampe).

Une déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées.

Ces dernières doivent respecter les recommandations exigées par le référentiel du SNTF en raison de sécurité et de confort dont :

Tableau IV-17 : Les déclivités maximales.

L (m)	Normal	Exceptionnel
L < 3000	16 ‰	18 ‰
3000 < L < 15000	16 ‰ à 13 ‰	18 ‰ à 15 ‰
L > 15000	13 ‰	15 ‰
La gare	0 ‰	0 ‰

Afin de permettre l'amortissement des oscillations des suspensions, il convient de définir une

IV.3.3.1.2 longueur minimale des éléments :

Tableau IV-18 : Longueurs minimales des déclivités.

Les paramètres	Normal	Exceptionnel
La longueur minimale des déclivités	V/2	V/2.5
	220/2 = 110 m	220/2.5 = 88 m

IV.3.3.2 Les raccordements :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter les valeurs de rayon du tableau suivant :

Tableau IV-19 : Valeurs de R_v .

Formule	$R_v = V^2 / (3.6^2 \times A_v)$
Valeur normal	0.35 V^2
Valeur exceptionnel	0.25 V^2

IV.3.4 Application sur le projet :

Tableau IV-20 : Paramètres géométriques de profil en long.

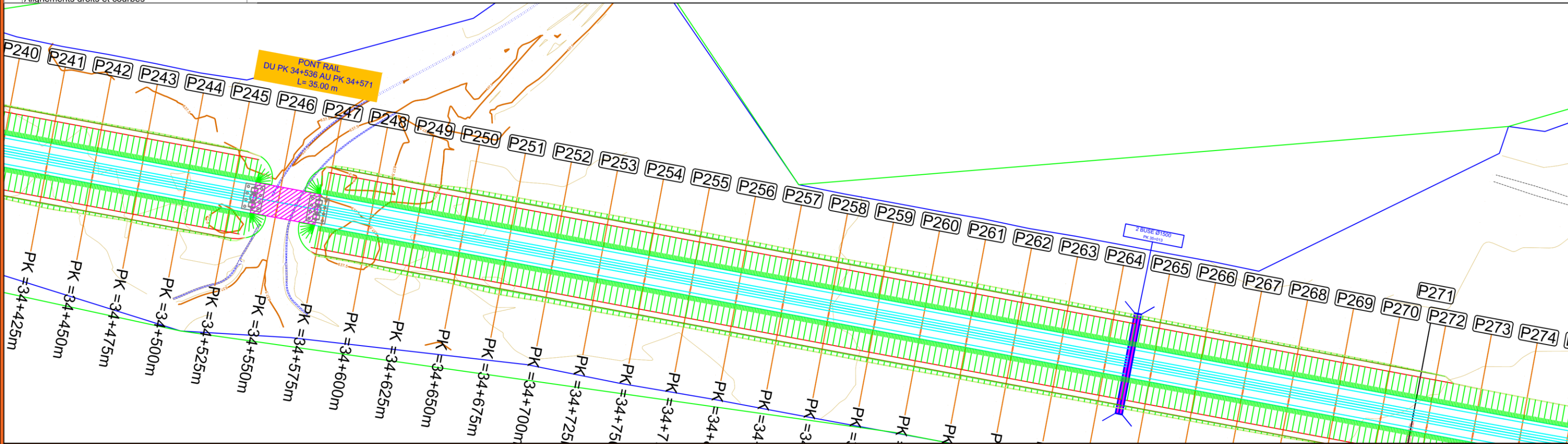
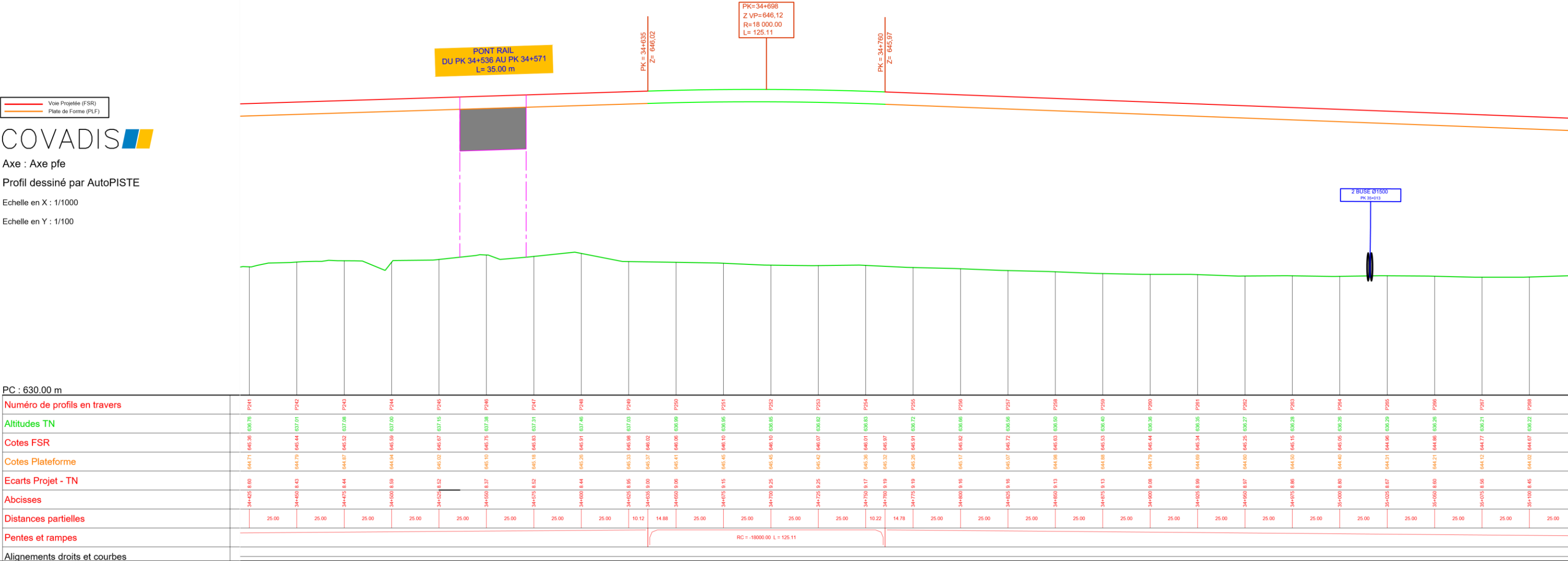
		Dmax				Rmin	Lmin
		L < 3000	3000 < L < 15000	L > 15000	Gare	-	-
Formule	Normal	-	-	-	-	$0.35 V^2$	$V/2$
	Exceptionnel	-	-	-	-	$0.25 V^2$	$V/2.5$
Application	Normal	16 ‰	16 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	16940	110
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	12100	88

NB : Dans notre projet nous allons travailler avec les valeurs normales des paramètres géométriques du profil en long (**Annexe B**).

IV.3.5 Conclusion :

On peut conclure que la construction du profil en long est une étape cruciale pour évaluer un projet ferroviaire, que ce soit du point de vue économique ou technique. Elle permet d'examiner les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.

Axe : Axe pfe
Profil dessiné par AutoPISTE
Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100



CHAPITRE V
ETUDE HYDROLOGIQUE
ET HYDRAULIQUE

CHAPITRE V. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE :

V.1 Introduction :

Dans les projets ferroviaires, l'hydrologie et l'hydraulique sont considérées comme des domaines d'étude essentiels pour comprendre et gérer les ressources en eau. L'analyse des régimes de précipitations, des écoulements fluviaux et des risques d'inondation met en évidence non seulement les contraintes, mais aussi les opportunités liées à la planification, à l'évaluation et à la réalisation des infrastructures ferroviaires.

En appliquant le cadre théorique à des situations réelles, l'hydrologie et l'hydraulique offrent une approche méthodologique permettant d'identifier et de maîtriser les contraintes liées aux phénomènes hydrologiques dans les projets ferroviaires, assurant ainsi leur stabilité et leur durabilité.

Cette partie de l'étude se concentre sur l'analyse hydrologique et hydraulique du projet spécifique de la nouvelle ligne Ksar El Boukhari /Boughezoul, sur le tronçon compris entre le PK 28+500 au PK 41+892.

V.2 Méthodologie et critères de conception :

Les différentes phases indispensables pour accomplir cette tâche incluent :

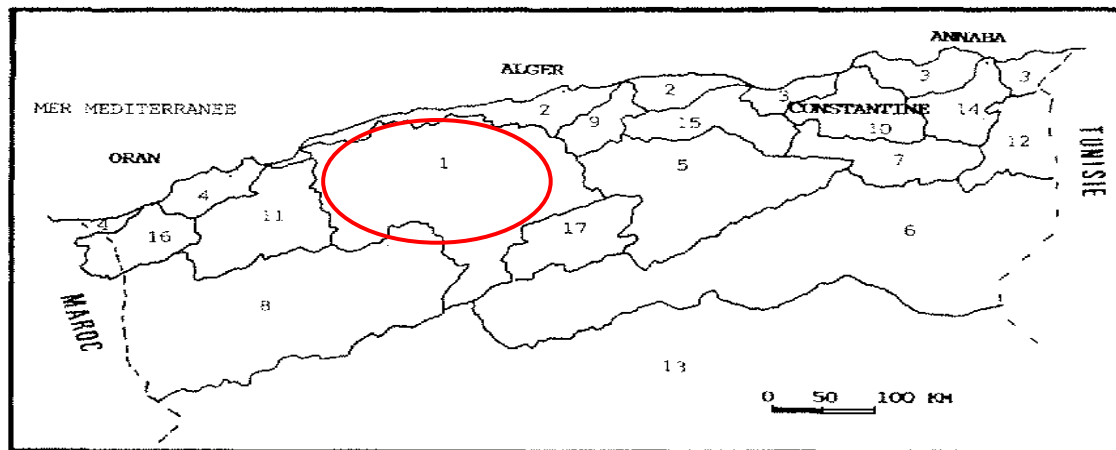
- La collecte et l'examen de documents ainsi que d'études hydrologiques concernant la région.
- L'obtention et l'analyse de cartes topographiques pour la région du projet.
- L'acquisition de données pluviales auprès de l'ONM est effectuée pour la région visée.
- L'emploi des cartes topographiques (carte état-major) pour repérer les parcours des oueds qui traversent la voie ferrée et délimitation bassins versants.
- Le calcul des paramètres géomorphologiques et physiques des bassins versants.
- L'estimation des débits de crue pour diverses périodes de retour.
- L'estimation des débits de saturation pour chaque type d'infrastructure hydraulique se fait en employant des critères tels que la section mouillée, la vitesse d'écoulement et la rugosité de l'ouvrage. Ceci permettra de dimensionner correctement les ouvrages hydrauliques longitudinaux et transversaux.

V.3 Étude hydrologique :

L'étude hydrologique a pour but de fournir les éléments hydrologiques nécessaires au projet d'exécution de la ligne ferroviaire, elle nous permet de limiter les sous bassins versants le long de notre tracé, ce qui nous pousse à bien connaître la trajectoire des cours d'eaux qui traversent notre zone d'étude, cette étude inclut également l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

V.3.1 Présentation générale de la zone de projet :

Selon le découpage hydrologique national établi par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), l'Algérie compte 13 bassins versants principaux. Le tronçon de la ligne de chemin de fer Ksar El Boukhari /Boughezoul est situé dans le bassin versant de



- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1 Chelif | 10 Kebir Rhumel |
| 2 Côtiers Algerois | 11 Macta |
| 3 Côtiers Constantinois | 12 Medjerdah |
| 4 Côtiers Oranais | 13 Sahara |
| 5 Chott Hodna | 14 Seybouse |
| 6 Chott Melhir | 15 Soummam |
| 7 Hauts Plateaux Constantinois | 16 Tafna |
| 8 Hauts Plateaux Oranais | 17 Zahrez |
| 9 Isser | |

Cheliff, située au Centre Nord de l'Algérie. Ce bassin hydrographique est une des plus importants de l'Algérie

Figure V-1 : Découpage hydrologique de l'Algérie en 13 bassins versants principaux (ANRH).

V.3.2 Caractéristique climatique et pluviométriques :

V.3.2.1 Climat :

Boughzoul à un climat de steppe. Il y a peu de précipitations, quel que soit la période de l'année, à Boughzoul La classification de Köppen-Geiger est de type BSk. Boughzoul affiche 15.8 °C de température en moyenne sur toute l'année.

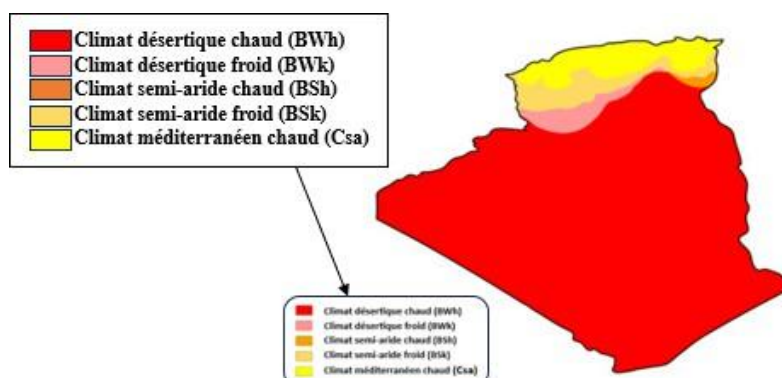


Figure V-2 : Carte climatique de l'Algérie.

V.3.2.2 Température :

En cette région, le gradient de température moyenne du mois le plus froid au mois le plus chaud varie, de 9.8°C à 29.3°C.

Dans les mois les plus chauds, Juillet et août, la température est fréquemment supérieure à 30°C.

Les mois le plus froids sont enregistrés entre décembre et février, et la température moyenne se situe environ 10°C.

Tableau V-1 : Température en C° mesurées à Boughezoul.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai
T_{moy} (°C)	9.8	11.3	13.5	15.8	20
Mois	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct
T_{moy} (°C)	25.3	29.3	29.3	26	20.4
Mois	Nov	Déc			
T_{moy} (°C)	15.3	11.2	Moy annuelle 19		

V.3.2.3 Les précipitations :

L'analyse de la pluviométrie est d'une grande importance en hydrogéologie pour déterminer le volume d'eau qui s'est déversé sur l'intégralité du bassin versant et son impact sur la recharge, ainsi que son implication dans la modification du comportement hydrodynamique de la nappe.

Les informations relatives à la zone d'étude ont été collectées à partir de l'Office National de la Météorologie (O.N.M).

➤ La précipitation journalière :

Les précipitations journalières se réfèrent aux quantités de pluie accumuler en une journée. On les utilise fréquemment dans les études de fréquence pour prévoir et minimiser les effets des événements hydrologiques extrêmes.

Tableau V-2 : Précipitation journalière maximale au niveau de la station de Boughezoul dans la période (1948-2005).

Années	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1961
$P_{j\ max}$ (mm)	33.1	22	21	33.2	13.6	11.5	13.5	21.7	21	17	24.1
Années	1962	1963	1970	1973	1974	1978	1981	1982	1983	1984	1985
$P_{j\ max}$ (mm)	30.1	33	16.1	22	23	12.8	60.8	21.4	17.6	15.8	36.4

Années	1988	1993	1994	1995	1996	1998	2001	2002	2003	2004	2005
$P_{j\max}$ (mm)	13.2	19	20.5	23.5	15	38.9	22	15	23	16.1	36.2

➤ La précipitation moyenne annuelle :

Cette zone se distingue par des précipitations très fluctuantes d'une année à l'autre.

Tableau V-3 : Précipitations annuelles moyennes (mm).

Station	Nombre d'années d'observation	Moyenne Annuelle (mm)	Ecart type (mm)
Bougezoul	57 ans	249.4	83.3

V.3.3 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :

V.3.3.1 Notion 'Bassin versant' :

Un bassin versant est caractérisé comme une zone géographique délimitée par une ligne continue, constituée des points les plus hauts – la ligne de partage des eaux – qui capture et oriente toutes les eaux de précipitation, les infiltrations et les écoulements vers un unique exutoire, qu'il soit question d'un cours d'eau principale ou de ses affluents. Chaque goutte d'eau tombant sur ce territoire suit instinctivement le parcours défini par la topographie, convergeant vers ce point unique de drainage. Cette idée clé aide à saisir la dynamique des écosystèmes hydrologiques et elle est essentielle pour gérer les ressources en eau et prévenir les dangers associés aux crues et à l'érosion.

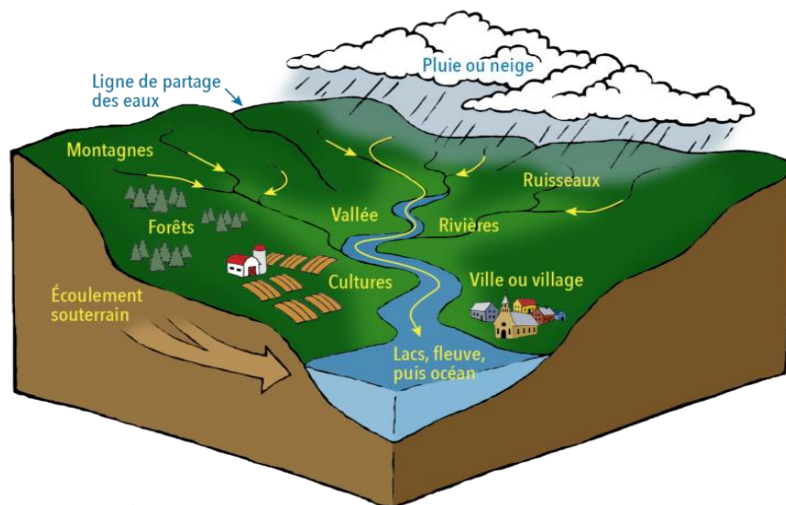


Figure V-3 : Schéma de principe d'un bassin versant.

V.3.3.2 Délimitation des bassins versant :

Le bassin versant fonctionne comme un réceptacle naturel, collectant les eaux de précipitation pour les acheminer vers un exutoire commun. Son comportement hydrologique est étroitement influencé par les conditions climatiques locales ainsi que par les particularités géomorphologiques du territoire concerné. Dans cette phase de l'étude, une délimitation précise des bassins versants intersectés par le tracé du projet a été réalisée, afin de mieux appréhender les écoulements de surface et anticiper les impacts hydrauliques liés à l'aménagement.

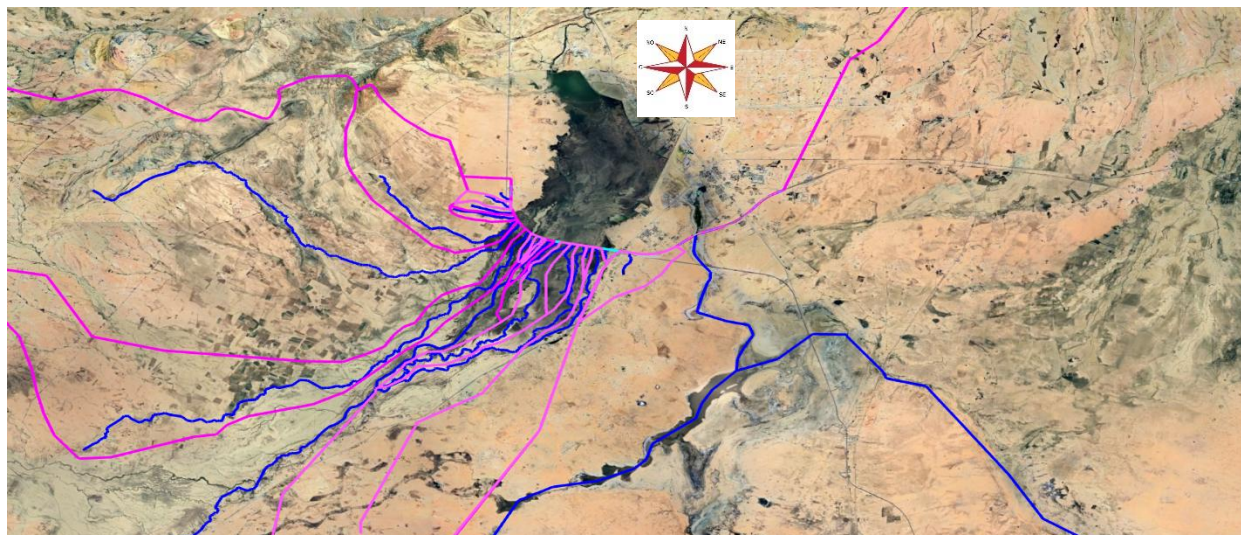


Figure V-4 : Exemple de délimitation des bassins versants de notre tracé.

NB : La délimitation de l'ensemble des bassins versants est présentée dans l'annexe C-1.

Les paramètres suivants ont été déterminés :

- S (km²) : La surface du bassin versant.
- P (km) : Périmètre.
- L (km) : Longueur de talweg.
- H_{max} : L'altitude max.
- H_{min} : L'altitude min.
- H_{moy} : L'altitude moyenne (m), avec $H_{moy} = (H_{max} + H_{min})/2$.
- I : La pente moyenne I en (%) ou en mm/mm), avec $I = \frac{\Delta H}{L}$.
- K_c : Indice de compacité de Gravelius, avec $K_c = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{S}}$.

Le tableau ci-dessous résume les propriétés des bassins versants des écoulements d'eau qui traversent la nouvelle ligne de chemin de fer Ksar El Boukhari /Boughezoul pour le tronçon PK 28+500 et le PK 41+892 :

Tableau V-4 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants.

N° BV	PK	S (km ²)	P (Km)	L (Km)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	ΔH (m)	I (mm/mm)	Kc
1	29+175	1.52	5.41	0.61	643	640	642	3	0.005	1.23
2	29+549	0.9	5.33	1.24	645	637	641	8	0.006	1.57
3	29+832	0.79	5.36	1.71	649	635	642	14	0.008	1.69
4	30+050	0.91	5.8	2.56	649	635	642	14	0.005	1.7
5	30+200	23.32	23.72	7.57	673	635	654	38	0.005	1.38
6	30+385	198.25	66.45	22.52	737	639	688	98	0.004	1.32
7	30+917	62.64	58.21	25.39	666	637	652	29	0.001	2.06
8	31+055	0.34	3.24	1.51	637	635	636	2	0.001	1.56
9	31+544	5378.6	354.26	123.89	1420	635	1028	785	0.003	1.8

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

10	31+582	0.17	3.13	1.46	636	635	636	1	0.001	2.13
11	31+886	0.62	6.17	2.86	636	635	636	1	0.001	2.19
12	32+110	1.53	9.59	2.57	637	635	636	2	0.001	2.17
13	32+577	6.93	22.29	15.43	646	634	640	12	0.001	2.37
14	32+795	2.22	7.57	2.76	637	634	636	3	0.001	1.42
15	33+165	45.11	47.49	14.01	647	635	641	12	0.001	1.99
16	33+482	0.31	3.59	0.61	635	634	635	1	0.002	1.81
17	33+617	47.94	43.26	6.28	639	635	637	4	0.001	1.57
18	34+172	0.24	2.14	0.66	636	634	635	2	0.003	1.22
19	35+013	5.12	11.97	1.2	638	636	637	2	0.002	1.48
20	37+819	1632.58	186.189	62.64	812	641	727	171	0.003	1.33

V.3.4 Calcul des débits maximaux (Les crues) :

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau revêt une importance majeure en raison des impacts potentiellement dévastateurs des crues. Dans le cadre de la conception d'aménagements hydrauliques d'envergure, il est impératif de définir le débit de crue extrême auquel les ouvrages doivent être dimensionnés pour assurer leur protection. Cette crue est généralement caractérisée par son débit de pointe, sa durée, ainsi que le volume total écoulé. Pour l'estimation des débits maximaux aux points de franchissement critiques, des formules empiriques sont couramment utilisées. Celles-ci sont établies à partir des propriétés physiques spécifiques à chaque bassin versant, telles que la superficie, la pente, la nature du sol...etc.

Voici les formules :

V.3.4 .1 Formule rationnelle ($S < 10 \text{ km}^2$) :

La notion fondamentale de la formule rationnelle repose sur le fait que la pluie à l'origine d'une inondation est celle dont la durée correspond au temps de concentration.

Tableau V-5 : Formule rationnelle et ses paramètres.

La formule	Les paramètres
$Q_A = \frac{C \cdot I \cdot S}{3.6}$	Q_A : Le débit de crue de fréquence (m^3/s). Cr : Coefficient de ruissellement. I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration(mm/h). S : La surface du bassin versant (Km^2).

➤ Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement correspond à la part du ruissellement d'eau par rapport aux précipitations totales survenus dans les bassins versants. Pour établir le coefficient de ruissellement Cr , nous avons choisi d'adopter la méthode de **KENESSEY** : $Cr = C1 + C2 + C3$
 Tel quel :

- Coefficient $C1$: dépendant de la pente du bassin versant.

Tableau V-6 : Coefficient $C1$.

Pente	$C1$		
$\leq 3,5 \%$	0.01	0.03	0.05

Entre 3,5 et 11 %	0.06	0.08	0.10
Entre 11 et 35 %	0.12	0.16	0.20
> à 35 %	0.22	0.26	0.30

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

Tableau V-7 : Coefficient C2.

Nature du sol	C2		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu perméable	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

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

Tableau V-8 : Coefficient C3.

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0.22	0.26	0.30
Prairie	0.17	0.21	0.25
Labors champs	0.07	0.11	0.15
Forte et territoires sableux	0.03	0.04	0.05

Dans notre projet : C1=0.01 ; C2= 0.21 ; C3= 0.22

Alors : **C_r = 0,44.**

➤ Le temps de concentration T_c :

Il s'agit du temps qu'une goutte d'eau met pour descendre du point le plus haut du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Ce délai est déterminé par les formules ci-après, qui diffèrent en fonction de la surface du bassin versant :

Tableau V-9 : Formules et ses paramètres de T_c.

Formule	T _c (h)	Surface Km ²	Paramètres
Ventura	$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}$	S < 5 Km ²	S [Km ²] : Superficie du bassin versant. I [m/m] : Pente moyenne du bassin versant.
Passini	$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}$	5 Km ² < S < 25 Km ²	S [Km ²] : Superficie du bassin versant. I [m/m] : Pente moyenne du bassin versant. L [Km] : Longueur du cours d'eau principal
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$	S > 25 Km ²	S [Km ²] : Superficie du bassin versant. I [m/m] : Pente moyenne du bassin versant. L [Km] : Longueur du cours d'eau principal. H _{moy} : L'altitude moyenne. H _{min} : L'altitude minimale.

➤ L'intensité de pluie :

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

$$I = a * (T_c)^{-b}$$

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

- I : Intensité de pluie en (mm/h).
- Tc : Temps de concentration exprimé en heures (h).

Tableau V-10 : Les valeurs des paramètres de Montana pour les différentes périodes de retour.

T (ans)	2	5	10	20	50	100
a (t)	14.2	20.1	23.8	27.4	32	35.4
b	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81

V.3.4.2 Formule Mallet et Gauthier (S>10km²) :

Tableau V-11 : Formule mallet et gauthier et ses paramètres.

La formule	Les paramètres
$Q_{100} = 2 \times K \times \log(1 + a \times P) \times \frac{S}{\sqrt{L}}$ $\sqrt{(1 + 4 \log T - \log S)}$	Q_{100} : Le débit de crue de période de retour voulue (m³/s). K : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité compris entre 0.5 et 5. (K égale 1.5) P : Précipitation Moyenne interannuelle (m). a : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 à 30. (« a » est pris égale à 20) S : Surface du bassin versant (km²). L : Longueur du talweg principale (km). T : Période de retour en année (ans). (T=100ans)

Les résultats de calcul des débits centennaux maximaux sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau V-12 : Les débits maximaux centennaux des oueds.

N° BV	PK	S (km²)	Cr	Tc (h)	I (mm/h)	Q ₁₀₀ (m³/s)		Q ₁₀₀ (m³/s)
						Rationnelle	Mallet-Gauthier	
1	29+175	1.52	0.44	2.23	18.47	3.43	-	3.43
2	29+549	0.90	0.44	1.50	25.49	2.80	-	2.80
3	29+832	0.79	0.44	1.25	29.55	2.86	-	2.86
4	30+050	0.91	0.44	1.64	23.71	2.64	-	2.64
5	30+200	23.32	0.44	8.55	6.22	-	21.60	21.60
6	30+385	198.25	0.44	16.09	3.73	-	99.77	99.77
7	30+917	62.64	0.44	22.89	2.80	-	30.78	30.78
8	31+055	0.34	0.44	2.035	19.91	0.83	-	0.83
9	31+544	5378.6	0.44	54.913	1.38	-	315.13	315.13
10	31+582	0.17	0.44	2.001	20.18	0.42	-	0.42
11	31+886	0.62	0.44	5.348	9.1	0.69	-	0.69
12	32+110	1.53	0.44	5.631	8.73	1.63	-	1.63
13	32+577	6.93	0.44	18.382	3.35	2.84	-	2.84
14	32+795	2.22	0.44	5.74	8.60	2.33	-	2.33
15	33+165	45.11	0.44	24.434	2.66	-	71.92	71.92
16	33+475	0.31	0.44	1.746	22.54	0.85	-	0.85
17	33+617	47.94	0.44	32.806	2.09	-	47.74	47.74
18	34+162	0.24	0.44	1.13	32.06	0.94	-	0.94

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

19	35+013	5.12	0.44	4.85	9.85	6.17	-	6.09
20	37+819	1632.58	0.44	45.29	1.61	-	237.51	237.51

V.4 Calcul hydraulique :

L'étude hydraulique a pour objectif d'éviter les impacts négatifs de l'eau sur les infrastructures ferroviaires, grâce à la gestion maîtrisée du drainage des eaux de pluie et souterraines. Elle offre la possibilité de concevoir un système d'assainissement performant, comprenant des structures longitudinales (fossés), transversales (dalots, buses, ponts et viaducs), et de raccordement (regards de visites, raccordement [buses-regard, buses-fossés, ...], assurant la stabilité de la plateforme et la sûreté du parcours ferroviaire. Cette analyse est essentielle pour évaluer adéquatement les ouvrages hydrauliques et maintenir la pérennité de l'infrastructure.

V.4.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les ouvrages de drainage transversaux sont essentiels pour garantir le flux continu des cours d'eau naturels, en offrant aux eaux de ruissellement la possibilité de traverser les infrastructures ferroviaires sans affecter leur stabilité. Ils sont conçus pour assurer que, même lors de fortes pluies, le débit produit (débit de saturation) ne dépasse pas la capacité maximale que l'infrastructure peut tolérer. On utilise la formule de **Manning-Strickler** pour évaluer cette capacité, celle-ci permet de déterminer le débit admissible en se basant sur les spécificités de l'infrastructure. Le but est de prévenir toute saturation en cas d'événements climatiques extrêmes.

Tableau V-13 : la formule de Manning-Strickler et ses paramètres.

Formule	Paramètres
$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I}$	K_s : Coefficient de rugosité, pour le béton $K_s = 70$ R_h : Rayon hydraulique. S_m : Section mouillée. I : La pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

V.4.1.1 Les buses :

Le dimensionnement des buses s'effectue en recourant à la formule de Manning-Strickler, où l'on établit l'équilibre entre le débit d'apport et la saturation :

Prédimensionnement :

$$Q_{max} = Q_s$$

$$\text{Avec : } S_m = \pi \frac{D^2}{4} \quad \text{et} \quad R_h = \frac{D}{4}$$

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

➤ 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 $Q = 0.1 Q_s \rightarrow V > 0.6$ m/s.

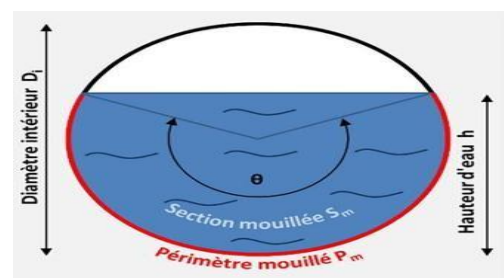


Figure V-5 : schéma d'une buse.

CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

- Condition 3 : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de $Q = 0.01 Q_s \rightarrow V > 0.3 \text{ m/s}$.

➤ Application numérique :

Pour le bassin versant N°02 :

On prend : $K_S = 70$ et $I = 0,01(\text{m/m})$

On a : $Q_s = Q_{max} = 2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ $D = 1098 \text{ mm}$

Alors : on choisit un diamètre commercial de 1,50m

Débit à pleine section : $Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} = 6.43 \text{ m}^3/\text{s}$

Vitesses à pleine section : $V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 3.64 \text{ m/s}$

Rapport de des débits : $R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.435$

D'après tableau en **annexe C** : Rapport des vitesses et des hauteurs ont été retenus :

Rapport des vitesses : $R_v = 0.965 \Rightarrow$ la vitesse d'écoulement : $V = R_v \times V_{ps} = 3.51 \text{ m/s}$

Rapport des hauteurs : $R_h = 0.461 \Rightarrow$ hauteur de remplissage : $H_c = R_h \times D = 0.69 \text{ m}$

Alors : $H_c = 0.69 \text{ m} < 0.8 * D = 1.2 \text{ m}$

Le tableau suivant démontre la vérification des conditions d'auto-curage pour l'ouvrage busé BV 02 :

Tableau V-14 : vérification des conditions d'auto-curage.

Les conditions	Les vérifications	R_q	R_v	V
1	$1 \text{ m/s} < V < 4 \text{ m/s}$	0.435	0.965	3.51
2	$Q = 0.1 Q_{ps} \rightarrow V > 0.6 \text{ m/s}$	0.1	0.64	2.33
3	$Q = 0.01 Q_{ps} \rightarrow V > 0.3 \text{ m/s}$	0.01	0.327	1.165

- Les conditions d'auto-curage du BV N°2 sont vérifiées.

Tableau V-15 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet vérifications des conditions d'auto-curage.

N° BV	PK	S (km^2)	Q_{100} (m^3/s)	I (%)	Dim de l'ouvrage type {buse}		Q_{ps} (m^3/s)	H_c (m)	Condition d'auto-curage		
					Φ mm	Nbr			$1 \text{ m/s} < V < 4 \text{ m/s}$	$V > 0.6 \text{ m/s}$	$V > 0.3 \text{ m/s}$
1	29+175	1.52	3.43	0.01	1500	1	6.43	0.78	3.69	2.33	1.17
2	29+549	0.90	2.80	0.01	1500	1	6.43	0.69	3.51	2.33	1.17
3	29+832	0.79	2.86	0.01	1500	1	6.43	0.70	3.53	2.33	1.17
4	30+050	0.91	2.64	0.01	1500	1	6.43	0.67	3.46	2.33	1.17
8	31+055	0.34	0.83	0.01	1500	1	6.43	0.36	2.51	2.33	1.17
10	31+582	0.17	0.42	0.01	1500	1	6.43	0.26	2.04	2.33	1.17
11	31+886	0.62	0.69	0.01	1500	1	6.43	0.33	2.37	2.33	1.17

12	32+110	1.53	1.63	0.01	1500	1	6.43	0.51	3.03	2.33	1.17
13	32+577	6.93	2.84	0.01	1500	1	6.43	0.67	3.46	2.33	1.17
14	32+795	2.22	2.33	0.01	1500	1	6.43	0.62	3.35	2.33	1.17
16	33+475	0.31	0.85	0.01	1500	1	6.43	0.37	2.53	2.33	1.17
18	34+162	0.24	0.94	0.01	1500	1	6.43	0.39	2.60	2.33	1.17
19	35+013	5.12	6.17	0.01	1500	2	12.86	0.73	3.60	2.33	1.17

V.4.1.2 Les dalots :

Sont des structures ayant une section rectangulaire ou carrée, et elles sont uniquement réalisées en béton armé. Ils se composent d'un radier, de deux murs et d'une dalle. Ils possèdent un pouvoir d'évacuation de débits plus importants que celui des buses, désignés par la largeur (B) et la hauteur (H). Le dimensionnement implique de définir la section et la hauteur d'eau utile du dalot, tout en tenant compte d'un taux de remplissage de 0,75 H. Cette démarche repose sur l'équation de Manning-Strickler, et vise à trouver un équilibre entre notre le débit d'apport et la saturation :

Prédimensionnement :

$$Q_{max} = Q_s$$

L'évaluation est effectuée par itérations, pour un taux de remplissage $H = 0.75 h$:

$$S_m = b \times 0.75h \text{ et } P_m = b + 1.5h$$

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

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

$$H_0 = \left(\frac{Q_{max}}{K_s \times \sqrt{I}} \right)^{3/5}$$

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

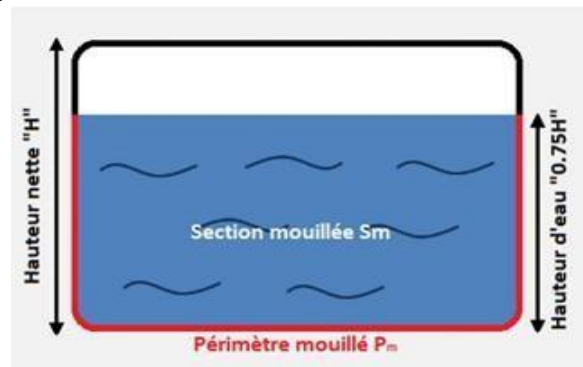


Figure V-6 : schéma d'un dalot.

➤ Application numérique :

Pour le bassin versant N°05 :

On prend: $K_s=70$, $I=0.005$ (m/m), $B= 3$ m

On a: $Q_{100} = Q_{max} = 21.6 \text{ m}^3/\text{s}$

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : $H = 1.694$ m

On prend : $H=2$ m

Donc les dimensions des dalots : (3*2)

$$S_m = 5.08 \text{ m}^2 ; P_m = 6.39 \text{ m} ; R_h = 0.8$$

$$\text{Débit à pleine section : } Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} = 21.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vitesses à pleine section : } V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 4.26 \text{ m/s}$$

$$\text{Rapport de des débits : } R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.996$$

⇒Vérification de la vitesse :

$$V_{sat} = \frac{Q_{max}}{S_m} = 3.98 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s} \rightarrow \text{condition est vérifié.}$$

⇒Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{ps}}{9.81 \times b^2}} = 0.501 \text{ m} < 0.75 \times H \rightarrow \text{condition est vérifié.}$$

⇒Vérification de la condition d'auto-curage :

$$V = 3.88 \text{ m/s} > 1 \text{ m/s} \rightarrow \text{condition est vérifié}$$

$$\text{Pour } Q=0.1Q_{ps} : V = 2.45 \text{ m/s} > 0.6 \text{ m/s} \rightarrow \text{condition est vérifié.}$$

$$\text{Pour } Q=0.01Q_{ps} : V = 1.34 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s} \rightarrow \text{condition est vérifié.}$$

Tableau V-16 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.

N° BV	PK	S (km ²)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	I (%)	Dim de l'ouvrage type {dalot}		Q _{ps} (m ³ /s)	H _c (m)	Condition d'auto- curage			Vsa t < 4 m/s
					B*H (m)	Nbr			Vps > 1m/s	V > 0.6 m/s	V > 0.3 m/s	
5	30+200	23.32	21.60	0.005	3*2	1	44.55	0.501	3.88	2.45	1.34	3.98
7	30+917	62.64	30.78	0.005	3*2	2	44.55	0.501	4.95	3.17	1.58	3.42
17	33+617	47.94	47.74	0.005	3*2	3	72.28	0.613	5.35	3.43	1.71	3.54

NB : Le tracé de la voie ferrée étudié traverse quatre oueds. Afin d'assurer la continuité hydraulique et de protéger la plateforme ferroviaire contre les risques d'inondation et d'érosion, des ouvrages de franchissement ont été prévus aux points d'intersection entre le tracé et les cours d'eau. Le tableau suivant présente les principaux ouvrages hydrauliques retenus le tracé.

Tableau V-17 : Caractéristiques des ouvrages hydrauliques.

PK	Oued	Ouvrages
30+385	Oued Athmane	Pont de longueur 70 m
31+544	Oued khanaget	Pont de longueur 70 m
33+165	Oued Touil	Pont de longueur 70 m
37+819	Oued Daïet El Kahla	Pont de longueur 210 m

V.4.2 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :

Les eaux de ruissellement en provenance des talus et terrains adjacents sont collectées et dirigées vers la plateforme ferroviaire par un dispositif de drainage longitudinal, assuré par des fossés implantés à des niveaux appropriés. Ces derniers orientent les écoulements vers les ouvrages hydrauliques prévus ou les lignes d'eau existantes.

L'analyse des surfaces à drainer a été menée à partir des profils en travers et des caractéristiques topographiques du terrain naturel concerné par le projet. Le dimensionnement des fossés repose sur les hypothèses suivantes :

- En zones de déblai, la pente des fossés suit celle du profil en long, avec un tracé trapézoïdal et une inclinaison des talus de H/V (1 :1).
- Le débit à évacuer, noté Q_a , résulte de la somme des apports de la plateforme (Q_{pf}) et des talus (Q_t) : $Q_a = Q_{pf} + Q_t$.
- Les cas les plus défavorables sont pris en compte, notamment ceux impliquant des remblais ou déblais de grande longueur et de hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

La formule	Les paramètres
$Q = \frac{C \cdot I \cdot S}{3.6}$	Q : Débits de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour $T(m^3/s)$. C_r : Coefficient de ruissellement. I : Intensité de pluie (mm/h). S : La surface du la plateforme/le talus (Km^2).

V.4.2.1 Les fossés :

On peut déterminer le calcul hydraulique des fossés par la formule de Manning Strickler :

Tableau V-18 : formule de Manning Strickler et ses paramètres.

La formule	Les paramètres
$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I}$	K_s : Coefficient de rugosité, pour le béton $K_s = 70$ $R_h = S_m / P_m$ $S_m = (b + z \times h) \times h$ $P_m = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$ Avec : z est la pente de berges

➤ Application sur notre projet :

Le dimensionnement des systèmes de drainages longitudinaux est calculé pour une période de retour de 10 ans. ($a=23.8$ et $b=0.81$).

Tableau V-19 : Les caractéristiques du remblai.

Cas	Remblai
Longueur (m)	1310
Hauteur du talus (m)	10.27

➤ Calcul du débit :

Plateforme						
Cas	Cr	P(m/m)	A(Km ²)	Tc(h)	I(mm/h)	Qpf(m ³ /s)
Rembli	0.8	0.04	0.01197	0.0695	206.33	0.55
Talus						
Rembli	0.5	0.5	0.01343	0.021	543.98	1.01
Qtot (m ³ /s)	1.56					

Les dimensions des fossés ont été choisies en fonction des conditions suivantes :

$$Q_{tot} < Q_s$$

Dimensionnement du fossé :

Tableau V-20 : Les dimensions du fossé.

B	H	Z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	Q
0.5	0.5	1.5	0.625	2.032	0.307	70	0.01	2.235

Alors : $Q_{tot} = 1.56 \text{ m}^3/\text{s} < Q_s = 2.235 \text{ m}^3/\text{s}$

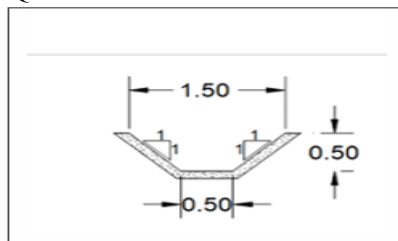


Figure V-7 : Le fossé trapézoïdal de notre projet.

NB : Dans ce tronçon (PK 29+800 au PK 34+550) et (PK 36+400 au PK 38+800), aucun fossé n'a été prévu, car il s'agit d'une zone inondable disposant déjà d'un système de drainage spécifique assurant l'évacuation des eaux.

➤ Zone inondable (marécageuse) :

Le tracé entre (PK 29+800 au PK 34+550) et (PK 36+400 au PK 38+800), cette section est soumise aux débordements périodiques des eaux de crue, ce qui nécessite des dispositions constructives particulières afin de garantir la stabilité et la pérennité de la plateforme ferroviaire.

Le profil type adopté dans cette zone a été défini en tenant compte de la cote des Plus Hautes Eaux Exceptionnelles, fixée à **NPHE + 0.5 = 639.00 m**. Cette cote constitue le paramètre de référence qui conditionne la hauteur minimale du remblai ferroviaire, de sorte que la plateforme se trouve en tout point au-dessus du niveau de la ligne d'eau en crue, assurant ainsi une protection efficace contre les risques d'inondation.

Afin de préserver l'intégrité structurelle du remblai et d'éviter tout phénomène de migration des fines entre les couches de matériaux de natures différentes, il est impératif de mettre en place un géotextile de séparation à l'interface entre le matériau drainant et les matériaux de remblai environnants.

Ce géotextile remplit un double rôle : il assure la séparation des couches granulaires tout en permettant le libre drainage des eaux interstitielles. Il doit répondre aux caractéristiques mécaniques et hydrauliques minimales suivantes :

- Masse surfacique $\geq 300 \text{ g/m}^2$.

- Résistance au poinçonnement statique (CBR) ≥ 3.5 kN.
- Résistance à la traction ≥ 20 kN/m.
- Déformation à l'effort de traction maximale $\geq 80\%$

Ces exigences garantissent que le géotextile conserve ses performances mécaniques sous les charges ferroviaires et dans les conditions d'humidité propres aux zones inondables.

V.5 Conclusion :

Il est essentiel de mener une étude hydraulique rigoureuse dans le cadre d'un projet ferroviaire pour assurer la durabilité de la voie. Par ailleurs, dans le domaine de l'assainissement, il est courant de surdimensionner les ouvrages hydrauliques afin de compenser le manque d'entretien fréquent dans notre pays et de garantir ainsi leur pérennité.

CHAPITRE VI
ETUDE GEOLOGIQUE ET
GEOTECHNIQUE

CHAPITRE VI. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE :

VI.1 Introduction :

L'étude géologique et géotechnique est essentielle pour la planification et la réalisation de projets d'ingénierie et de construction. Elle analyse les caractéristiques des sols et des roches pour fournir des recommandations sécurisées. La géologie prévoit les risques naturels comme les tremblements de terre tandis que la géotechnique évalue la stabilité des fondations et des structures souterraines. En combinant ces expertises. Ces analyses permettent d'élaborer des solutions personnalisées qui garantissent la pérennité et la fiabilité des infrastructures construites.

VI.2 Étude Géologique :

VI.2.1 Cadre géologique général :

La zone d'étude du tracé se situe, du point de vue géologique, dans le Domaine atlasique, façonné au cours du Tertiaire par les mouvements alpins. Elle se développe principalement au sein du complexe sédimentaire des nappes telliennes et de l'Atlas plissé (Atlas tellien), en contact vers le sud avec les Hauts Plateaux.

Le tracé de la voie ferrée reliant Ksar El Boukhari à Boughezoul, d'un linéaire approximatif de 42 km, s'étend du nord vers le sud en traversant les Atlas telliens dans sa partie méridionale. À l'approche de Boughezoul, il entre progressivement en contact avec les formations alluvionnaires des Hauts Plateaux, reposant sur des formations miocènes anté- et post-nappes.

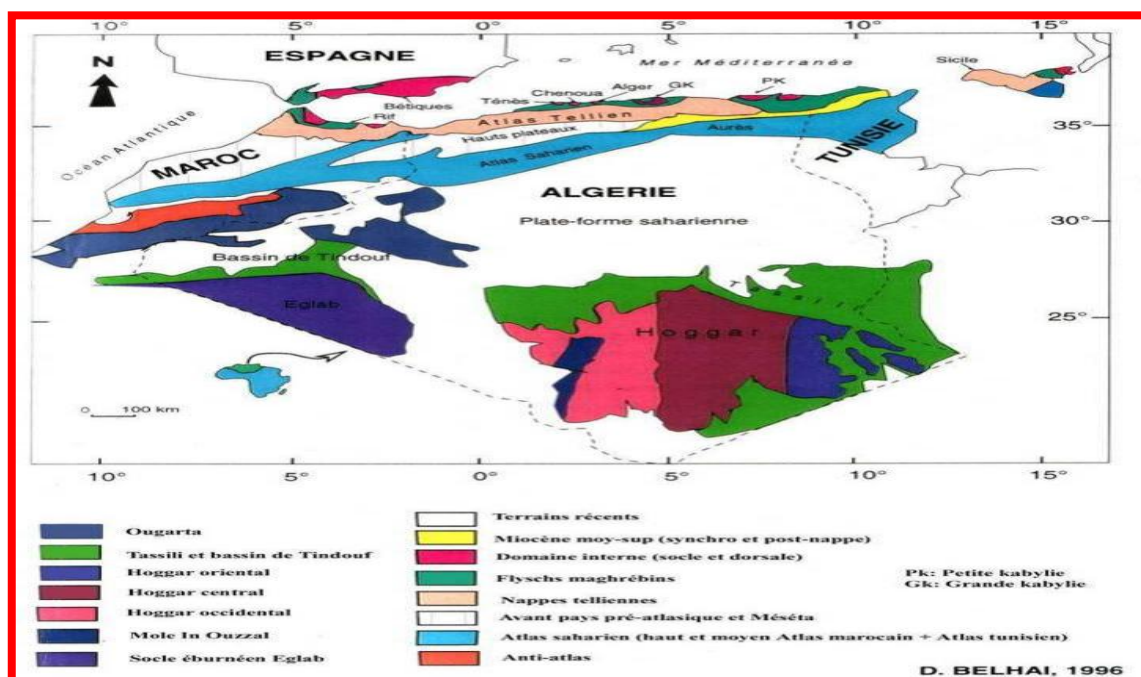


Figure VI-1 : Les grands ensembles géologiques de l'Algérie.

VI.2.2 Contexte géologique de ce tronçon :

D'après la carte géologique au 1/50 000 de la wilaya de Médéa, la zone d'étude, s'étendant du PK 28+500 au PK 41+892, est caractérisée par des formations quaternaires (Qal-2) d'âge holocène. Elle est constituée d'alluvions récentes, formées de sables, de limons et d'argiles, avec la présence de quelques graviers.

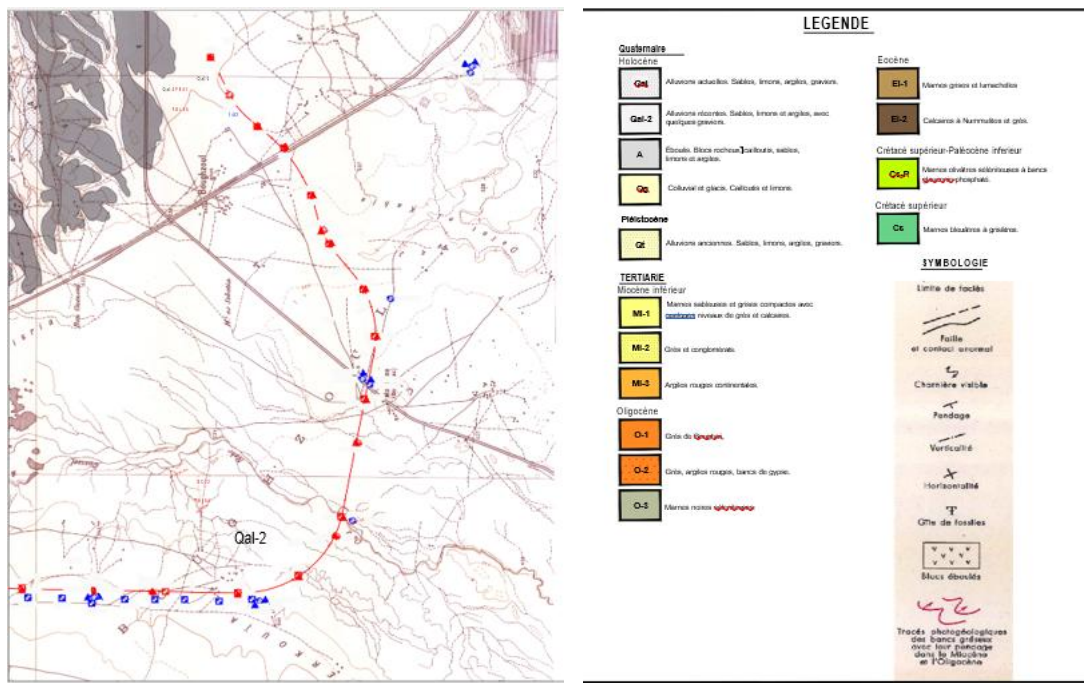


Figure VI-2 : localisation du tronçon étudié sur la carte géologique.

VI.3 Etude géotechnique :

VI.3.1 Programme d'investigation géotechnique :

Le programme d'investigations géotechniques proposé pour ce projet se résume en :

- **Puits de reconnaissance** : ils permettent d'identifier la nature des sols selon les classifications GTR et UIC, et de vérifier la présence de la nappe phréatique.
- **Essais de pénétration dynamique lourd** : destinés à évaluer la compacité, la consistance et la résistance dynamique des sols.
- **Sondages carottés** : réalisés pour les études de stabilité, ils permettent une description lithologique précise et une caractérisation géomécanique des différentes couches traversées.
- **Essais SPT (Standard Pénétration Test, avec un forage préalable)** : utilisés pour déterminer la résistance des sols, estimer leur compacité ou consistance, évaluer leur portance, ainsi que pour aider à définir le type de fondation adapté aux ouvrages à construire.

Remarque : La localisation des sondages et essais in -situ réalisés du P K29+500 au PK41+892 sont représentés dans l'annexe D.

- **Essais en laboratoire :** pour analyser les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des échantillons prélevés (granulométrie, limites d'Atterberg, densité, Proctor, CBR, etc.).

L'objectif principal de cette campagne est d'évaluer les caractéristiques géotechniques du sol en vue de :

- Dimensionner la plate-forme conformément aux exigences de la norme UIC 719.
- Déterminer les types de fondations adaptés pour les ouvrages d'art et les bâtiments.
- Évaluer des risques géotechniques, notamment la stabilité des talus en remblai et en déblai, à travers le calcul du facteur de sécurité.

VI.4 Essais in situ :

VI.4.1 Méthodologie d'investigation :

A) Sondages carottés :

Les sondages carottés ont été réalisés à l'aide d'un carottier rotatif équipé d'un trépan et de tubes à carottes. Le matériel utilisé comprend une foreuse hydraulique montée sur chenilles, un carottier double et un système de récupération de carottes. Ces sondages permettent :

- Le prélèvement d'échantillons intacts sur toute la profondeur explorée.
- L'identification précise de la stratigraphie : c'est-à-dire la succession et l'épaisseur des différentes couches géologiques traversées, essentielle pour comprendre la composition et la structure du terrain.
- La collecte d'échantillons représentatifs : utilisables pour des essais en laboratoire visant à déterminer les propriétés mécaniques et physiques du sol, notamment les essais œdométriques (compressibilité et consolidation), triaxiaux (résistance au cisaillement sous contraintes contrôlées) et de cisaillement direct (résistance au glissement).

B) Puits de reconnaissance :

Les puits ont été réalisés à l'aide d'une pelle mécanique type rétro-chargeur ou à la main selon l'accessibilité. Ils sont généralement carrés ($1\text{ m} \times 1\text{ m}$) et atteignent des profondeurs de 3 à 4 mètres.

Ils permettent :

- Une observation directe des horizons géologiques.
- Le prélèvement d'échantillons en masse pour essais Proctor, CBR ou analyse granulométrique.
- L'identification de structures du sol (stratification, fissures, traces d'humidité, matériaux anthropiques).

C) Pénétromètre dynamique Lourd PDL : (N FP 94-115) :

Les essais pénétrométriques ont été réalisés à l'aide d'un pénétromètre dynamique lourd de type BORRO, conformément à la norme NF P 94-115. Ce type d'essai permet d'évaluer la compacité, la consistance et la portance des couches de sol en place, ainsi que de détecter

toute variation brutale de résistance avec la profondeur. Le pénétromètre dynamique lourd comprend :

- Un mouton de 63,5 kg (masse M), tombant librement d'une hauteur de 76 cm (H).
- Une tige filetée reliée à un cône normalisé de surface $A = 10 \text{ cm}^2$.
- Un système de guidage vertical monté sur trépied ou portique.
- Un compteur de coups et un dispositif de lecture du refus moyen (e).

À chaque coup, le cône s'enfonce dans le sol. Le nombre de coups nécessaires pour une pénétration de 10 cm, noté N_{10} , est enregistré. Ce nombre sert à calculer la résistance dynamique de pointe R_d , qui reflète la résistance du sol. En représentant R_d en fonction de la profondeur, on obtient des pénétrogrammes (donnés en annexe), utiles pour identifier les couches porteuses, les zones moins denses ou les matériaux hétérogènes. La résistance dynamique de pointe R_d est calculée à partir du nombre de coups selon la formule des Hollandais :

$$R_d = \frac{M^2 H}{A e (M + P)}$$

Avec :

- M = masse du mouton (M)
- H = hauteur de chute du mouton.
- e = refus (pénétration moyenne par coup).
- A = section de la pointe du pénétromètre dynamique.
- P = poids des tiges.

Ensuite, la capacité portante Q est liée à la résistance de pointe par la relation :

$$Q = R_d / FS$$

Où FS est un coefficient empirique dépendant du type de sol et du facteur de sécurité choisi.

D) Essai de pénétration standard « SPT » :

L'essai de pénétration standard est une méthode géotechnique utilisée pour caractériser le sol et obtenir un échantillon remanié. Il mesure la résistance d'un carottier normalisé enfoncé dans un forage, applicable aux sols fins et granulaires (éléments $< 20 \text{ mm}$), jusqu'à 50 m de profondeur.

À une profondeur donnée H , le carottier est enfoncé sur 45 cm par battage. Trois mesures sont effectuées, chacune sur 15 cm :

- N_1 : de H à $H+15 \text{ cm}$.
- N_2 : de $H+15 \text{ cm}$ à $H+30 \text{ cm}$.
- N_3 : de $H+30 \text{ cm}$ à $H+45 \text{ cm}$.

Le nombre de coups SPT est calculé par : $N = N_2 + N_3$

Ce nombre sert à évaluer la résistance et la compacité du sol.

VI.5 Essais de laboratoire :

Notre campagne d'investigation géotechnique a comporté une série complète d'essais de laboratoire, réalisés sur deux types d'échantillons afin de caractériser précisément les matériaux du site.

- **Échantillons intacts** : Prélevés lors des sondages carottés, ces échantillons non remaniés ont permis d'analyser les propriétés du terrain naturel, notamment les caractéristiques mécaniques et de déformabilité.
- **Échantillons remaniés** : Issus des puits de reconnaissance, ces échantillons ont été soumis à des essais d'identification et de caractérisation mécanique pour évaluer leur potentiel de réutilisation en remblai.

Le tableau suivant détaille l'ensemble des essais réalisés selon les normes en vigueur :

Tableau VI-1 : Essais de laboratoire réalisés, normes applicables et paramètres déterminés.

Type d'échantillon	Essai	Norme	Paramètres déterminés
Échantillons intacts (Sondages carottés)	Analyse granulométrique	NF P 94-056/057	Distribution dimensionnelle des particules
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051	WL (%), WP (%), IP (%)
	Paramètres physiques	NF P 94-050	W _n (%), S _r (%), γ_d , γ_w
	Cisaillement CD	NF P 94-071-1	C (Bar), ϕ (°)
	Essai œdométrique	XP P 94-090-1	C _c , C _g , P _c (bar)
	Paramètres chimique	NF P 94-050	CaCO ₃ (%), SO ₄ (%), CL (%)
Échantillons remaniés (Puits de reconnaissance)	Analyse granulométrique	NF P 94-056/057	Distribution dimensionnelle des particules
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051	WL (%), WP (%), IP (%)
	Paramètres physiques	NF P 94-050	W _n (%), S _r (%), γ_d , γ_w
	Valeur au bleu	NF P94-068	VBS (g/100g)
	Pactor modifié	NF P94-093	W _{opt} (%), γ_{dmax}
	CBR imbibe	NF P94-073	CBR
	Paramètres chimique	NF P 94-050	CaCO ₃ (%), SO ₄ (%), CL (%)

CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VI.6 Lithologie de la zone d'étude :

Tableau VI-2 : Lithologie de la zone d'étude.

	Profondeur (m)	La lithologie de la zone d'étude
P-130 (28+700)	0.00-0.30m	Terre végétale, sable limoneux, graveleux,
	0.30-0.60m	Sable fin peu argileux gypseux, jaunâtre à marron clair
	0,60-2.80m	Sable gypseux peu argileux, avec quelques cailloux roulés de grès, dispersés, jaunâtre,
P-05-08 (28+758)	0.00 – 0.30m	Limons sableux avec racines végétales
	0.30 – 0.80m	Sable limoneux, peu graveleux, brunâtres
	0.80 – 3.00m	Sable graveleux, caillouteux, carbonatés, jaunâtres
PR-41 (29+115)	0.00 – 0.40m	Terres végétales
	0.40 – 2.00m	Sable limoneux, peu argileux, brunâtre
	2.00 – 3.00m	Sable gravelo-caillouteux, jaunâtre
P-131 (29+550)	0.00-0.30m	Terre végétale, argile limoneuse peu carbonaté
	0.30-1.50m	Argile limoneuse noirâtre avec présence de matière organique, et quelques veines millimétrique de gypse,
	1.50-3.00m	Sable limoneux peu argileux, peu plastique, jaunâtre
S-113 (30+775)	0.00-4.00m	Argile carbonatée légèrement graveleuse brunâtre
	4.00-10.00m	Alluvions (sable fin grossier, caillouteux, jaunâtre)

P-132 (31+275)	0.00-0.40m	Limon argileux carbonaté, peu sableux
	0.40-2.00m	Argile peu limoneuse, moyennement plastique, présence de matière organique, maron à noirâtre,
	2.00-3.00m	Argile peu limoneuse, peu carbonaté, compacte, schistosé par enfroits, Marron à noirâtre,
SC-19(31+465)	0.00 – 1.30m	Limons argileux, peu sableux, marrons
	1.30 – 13.30m	Argiles sableuses, limoneuses, marrons
	13.30 – 20.00m	Sable gravelo - limoneuses, fermes a dures, marrons
PR-43 (31+865)	0.00 – 0.20m	Limons sablo-argileux avec racines végétales
	0.20 – 3.00m	Argiles limoneuses, peu sableuses, brunâtres à verdâtre avec inclusions gypseuses,
P-133(32+575)	0.00-0.20m	Terre végétale ; sablo-limoneuse, marron clair
	0.20-1.90m	Argile limoneuse graveleuse carbonaté, moyennement plastique, noirâtre, présence de matière organique
	1,90-3.00m	Argile sableuse peu limoneuse, carbonaté, plastique, Marron à noirâtre
SC-20 (33+415)	0.00 – 7.00m	Argiles limoneuses, peu sableuses, marrons a brunâtres, avec inclusions gypseuses,
	7.00 – 20.00m	Sable limoneux, très peu argileux, par endroits graveleux, jaunâtres

CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

P-134(33+900)	0.00-0.40m	Terre végétale, limon argileux, gris à noirâtre
	0.40-1.50m	Argile limoneuse carbonaté, moyennement plastique, présence de matière organique, noirâtre à marron
	1.50-3.00m	Limon argileux, très plastique, peu carbonaté, Marron à jaunâtre
P-135 (35+225)	0.00-0.20m	Terre végétale, sable argileux, marron-rougeâtre
	0.20-1.10m	Sable limoneux marron rougeâtre sans cohésion et avec un peu d'humidité.
	1.10-3.00m	Sable limoneux fine de couleur gris brunâtre
P-136 (36+250)	0.00-0,10m	Sable argileux, marron-rougeâtre
	0.10-1.80m	Sable limoneux marron rougeâtre sans cohésion et avec un peu d'humidité.
	1.80-3.00m	Argile limoneuse et sableau, de couleur marron grisâtre
PR-46 (36+615)	0.00 – 0.20m	Terre végétales
	0.20 – 0.80m	Sable limoneux, argileux, rougeâtres
	0.80 – 2.80m	Argiles marneuses, sableuses, limoneuses, gris-verdâtres, fortement gypseuses
P-137 (37+375)	0.00-0.70m	Sable limoneux marron rougeâtre
	0.70-1.50m	Argile limoneuse et sableau, de couleur marron grisâtre, parfois avec des concrétions carbonatées
	1.50-3.00m	Sable argileuse, marron grisâtre

SC-21 (38+068)	0.00 – 3.00m	Sable limoneux, peu argileux, ocre à rougeâtre
	3.00 – 4.80m	Sable limoneux, peu argileux, jaunâtre
	4.80 – 15.00m	Sable limoneux, jaunâtre très peu argileux, ocre à rougeâtre
	15.00 – 20.00m	Sable gravelo - caillouteux, jaunâtre
P-138 (39+500)	0.00-0.50m	Limon sableux, organique, marron, avec une fraction d'argile limoneuse, grisâtre.
	0.50-2.50m	Limon sableux, de couleur marron-grisâtre, parfois avec des concrétions carbonatées.
PR-49 (39+929)	0.00 – 0.30m	Sable limoneux, peu argileux, brunâtres
	0.30 – 1.50m	Sable argileux, limoneux, brunâtres avec des niveaux argileux et gypseux
	1.50 – 3.00m	Argiles sableuses, gypseuses, verdâtres, oxydée
SC-22 (40+215)	0.00 – 15.00m	Sable limoneux, peu argileux, à argileux, par endroits graveleux
	15.00 – 20.00m	Argiles très sableuses, limoneuses, ocres à jaunâtres
P-139 (40+225)	0.00-0.40m	Sable limoneux organique, de couleur marron.
	0.40-1.70m	Limon sableux, de couleur marron-grisâtre, parfois avec des concrétions carbonatées et plus blanchâtre
	1.70-2.60m	Sable limoneux de couleur marron clair grisâtre.
	2.60-2.70m	Grès avec matrice carbonaté et limoneux

CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VI.7 Présentation des résultats :

Les tableaux ci-dessous présentent un résumé des essais de laboratoire sur les échantillons récupérés des puits de reconnaissance et des sondages carottés réalisés en APD ainsi que la classification du sol selon GTR et UIC 719R.

VI.7.1 Puits de reconnaissances :

Tableau VI-3 : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances.

N° Sondage	PK	Profondeur (m)		Analyse granulométrique		W (%)	Limites d'Atterberg		Proctor		CBR	VBS	Classification	
		De	A	<2mm (%)	<80um (%)		WL (%)	Ip (%)	gd (t/m3)	Wopm			GTR	UIC
P-130	(28+700)	1.2	3.0	84.22	33.06	-	NP	NP	-	-		0.7	B5	QS1
P-05-08	(28+758)	1.4	1.8	92.34	72.16	17.20	58	26	1.81	16.50	2	-	A3	QS0
PR-41	(29+115)	0.6	1.4	97.70	53.50	9.04	34	17	1.92	10.50	5.1	-	A2s	QS1
P-131	(29+550)	1.3	3.0	98.01	87.03	-	52	26	1.76	14.50	17.5	1.1	A3	QS1
P-131	(31+275)	2.0	3.0	99.00	81.10	-	51	26	1.81	13.90	-	2.2	A2/A3	QS0
P-132	(31+865)	0.5	1.5	100	99.46	20.6	47	24	-	-	-	-	A2th	QS0
P-133	(32+575)	1.8	3.0	98.89	80.99	-	50	25	1.88	13.8	-	2.3	A2	QS0
P-134	(33+900)	1.5	3.0	97.56	85.42	-	52	26	1.83	14.50	-	1.4	A3	QS0
P-135	(35+225)	1.1	3.0	84.67	10.85	-	NP	NP	-	-	-	0.9	B2	QS2
P-136	(36+250)	1.8	3.0	97.85	70.54	-	41	21	1.83	10.20	-	0.9	A2	QS1
PR-46	(36+615)	1.6	2.2	91.18	74.67	18.40	39	19	-	-	-	-	A2th	QS1
P-137	(37+375)	0.7	2.5	97.33	75.81	4.00	48	24	1.92	8.60	15.7	1.6	A2ts	QS1
P-138	(39+500)	0.5	2.5	98.30	82.33	-	50	25	1.80	12.40	23.3	1.0	A2m	QS0
PR-49	(39+929)	0.4	1.3	98.50	61.08	12.30	30	15	-	-	-	-	A2m	QS1
P-139	(40+225)	0.4	2.6	97.49	77.71	2.20	48	24	1.92	10.60	-	2.2	A2ts	QS1

CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VI.7.2 Sondages carottés :

Tableau VI-4 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés.

Nom de Sondage	PK	Profondeur (m)		W (%)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	Sr (%)	Analyse granulométrique		Limites d'Atterberg		Cisaillement CD à la boîte		Essai œdométrique			Classification GTR et UIC	
		De	À					<2mm (%)	<80 μ (%)	WL%	IP%	C' (KPa)	ϕ'	Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)	GTR	UIC
S-113	(30+775)	2.6	3.2	24.0	1.62	2.01	97.20	97.84	77.99	43	23	55	8.8	-	-	-	A2th	QS1
SC-19	(31+465)	2.0	2.5	23.0	1.59	1.96	88.96	100	100	66	37	54	3.95	1.75	27.1	6.24	A3th	QS0
		3.5	4.0	12.8	1.65	1.87	54.31	100	100	71	37	20	18.7	1.06	23.9	3.79	A3s	QS1
SC-20	(33+415)	3.6	4.0	25.4	1.64	2.05	100	100	100	62	28	-	-	0.72	18.4	4.3	A3th	QS0
SC-RN1-05	(34+626)	5.0	5.35	19.5	1.73	2.03	93.89	100	88.50	35	17	-	-	-	-	-	A2th	QS1
SC-RN1-04	(34+700)	5.8	6.0	18.7	1.78	2.11	97.70	100	91.40	34	16	-	-	-	-	-	A3th	QS0
SC-21	(38+068)	1.1	1.5	15.8	1.88	2.18	97.81	97.76	40.90	26	11	29	13.1	0.23	18.63	3.46	A1th	QS1
SC02(011)	(38+200)	5.00	5.47	23.8	1.66	2.06	100	98.90	73.80	48	27	-	-	-	-	-	A3th	QS0
SC02(012)		9.87	10.5	23.5	1.69	2.09	100	85.12	51.50	59	28	56	16.5	-	-	-	A3th	QS0
SC01(009)	(38+550)	6.5	7.0	24.3	1.65	2.05	100	99.49	83.90	64	37	99	7.3	12	0.19	0.045	A3th	QS0
SC01(010)		11.90	12.44	25.4	1.74	2.18	100	100	83.56	48	26	-	-	-	-	-	A3th	QS0
SC-22	(40+215)	1.5	2.0	16.6	1.70	1.98	76.19	96.90	71.15	33	16	-	-	2.62	20.2	3.67	A2h	QS1



Figure VI-3 : Sondage carroté 19.1



Figure VI-4 : Sondage carroté 19.2

➤ **Interprétation du tableau des Essais de Puits de reconnaissances et des Sondages carottés :**

Selon la classification GTR, les sols étudiés sont principalement constitués des classes A2 et A3, représentant plus de 80 % des échantillons. Il s'agit majoritairement de sols fins (limons, argiles et sables argileux) présentant une plasticité moyenne à élevée, dont le comportement dépend fortement de la teneur en eau.

Selon la classification UIC, on observe une dominance des sols de qualité moyenne à faible (QS1), suivis des sols de très faible qualité (QS0), totalisant plus de 70 % des échantillons. Cette répartition s'explique par la présence importante de formations alluvionnaires récentes (Qal-2), constituées de sols argilo-limoneux, parfois légèrement sableux.

VI.7.3 Essais chimiques :

Pendant la phase d'investigation de champs, notamment avec la réalisation de puits de reconnaissance, mais aussi avec la conclusion de quelques sondages mécaniques carottés, ont été identifiées des formations évaporitiques (notamment de nature gypsifère) et donc on a considéré prudent de réaliser quelques analyses chimiques aux sols échantillonnés pour évaluer la présence de composés chimiques qui puissent impliquer quelque agressivité chimique. Ainsi, ont été réalisés des essais chimiques pour évaluer la présence de Carbonates (CaCO_3), Sulfates (SO_4 -) et Chlorures (Cl -).

Tableau VI-5 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés.

N° Sondage	PK	Paramètres chimique			Classification
		CaCO_3 (%)	SO_4 (%)	Cl - (%)	
PR-41	29+115	15.5	10.7	0.3	Sol Agressif
SC-19	31+465	10.5	Traces	0.35	Sol Non Agressif

PR-43	31+865	25.9	Traces	0.3	Sol Non Agressif
PR-46	36+615	29.3	Traces	0.2	Sol Non Agressif
P-137	37+375	0.9	19.07	0.14	Sol Agressif
PR-49	39+929	27.2	Traces	1.2	Sol Non Agressif
SC-22	40+215	24.8	2.33	0.39	Sol Non AgressifS
P-139	40+225	7.51	18.6	0.05	Sol agressif

VI.7.4 Pénétrromètre dynamique lourd :

Tableau VI-6 : Résultats pénétrromètre dynamique lourd.

N° Sondage	PK	Objectif	Prof max. (m)	Qd moyenne (Bar)	σ_{adm} (MPa)
PDL-41	29+115	Fondation de remblais	5.6	90	0.36
PDL-42	30+365		12.0	65	0.26
PDL-43	31+465		12.8	80	0.32
PDL-44	31+865		12.4	70	0.28
PDL-45	33+415		13.2	90	0.36
PDL-46	34+315		6.6	110	0.44
PDL-47	35+615		8.4	85	0.34
PDL-48	36+615		9.6	70	0.28
PDL-49	37+763		10.8	80	0.32
PDL-50	38+068		11.0	70	0.28
PDL-51	38+816		4.2	120	0.48
PDL-52	39+929		7.6	110	0.44
PDL-53	40.594		5.6	120	0.48
PDL-54	41+443		4.8	140	0.56

➤ Interprétation du tableau Pénétrromètre dynamique lourd :

Ce secteur est caractérisé par des formations alluviales quaternaires (Qal-2), majoritairement limoneuses et argileuses, avec des composants sableux dispersés. Ces sols présentent une capacité portante faible à moyenne, variant entre 200 et 300 kPa. Toutefois, les contraintes admissibles pratiques — particulièrement dans les premiers mètres sous la surface, notamment entre les points kilométriques PK 29+500 et PK 38+800 sont inférieures à ces valeurs, ce qui limite la capacité du sol à supporter les charges imposées par les futures structures, en particulier celles destinées à atteindre une grande hauteur ou à supporter des charges lourdes. Cette situation est aggravée par la présence d'éléments structuraux prévus sous les remblais, tels que des passages hydrauliques, ainsi que par le fait que ce tronçon se situe en zone inondable, augmentant le risque de saturation et de perte de résistance. Pour

CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

pallier ces contraintes, une solution technique intégrée a été adoptée : elle comprend l'enlèvement partiel des sols naturels les plus fragiles, leur substitution par des matériaux pierreux adaptés à meilleure portance, et la mise en place d'un matelas drainant à la base des remblais, d'une épaisseur de 2,5 mètres, afin d'assurer un drainage efficace et d'améliorer la stabilité à long terme. Par ailleurs, les situations transitoires susceptibles de survenir pendant les phases de construction ont été évaluées, en tenant compte des caractéristiques locales des sols, afin de garantir la sécurité structurale durant l'exécution et au-delà.

VI.7.5 Essais de Standard Penetration Test (NF P 94-116) :

Tableau VI-7 : Pénétration standard (SPT).

Sondage N	Profondeur (m)	N0	N1	N2	N	Interprétation selon (XP P94-011)
SC-19	1.55-2.00	3	6	10	16	Moyennement dense
	3.00-3.45	6	13	17	30	Moyennement dense
	4.55-5.00	8	11	14	25	Moyennement dense
	6.00-6.45	9	11	15	26	Moyennement dense
	10.00-10.45	11	15	18	33	Dense
	15.00-15.05	Refus	-	-	Refus	Très dense
SC-20	1.55-2.00	8	14	21	35	Dense
	3.00-3.45	7	11	19	30	Moyennement dense
	4.55-5.00	6	11	17	28	Moyennement dense
	6.00-6.45	6	9	11	20	Moyennement dense
	11.55-12.00	3	5	9	14	Moyennement dense
	13.55-14.00	2	4	6	10	Moyennement dense
	17.55-18.00	5	7	10	17	Moyennement dense
	19.55-20.00	7	12	17	29	Moyennement dense
SC-21	5.55-6.00	3	7	11	18	Moyennement dense
	7.05-7.50	5	8	13	21	Moyennement dense
	8.55-9.00	8	12	17	29	Moyennement dense
	10.05-10.5	7	11	16	27	Moyennement dense
	11.55-12.00	6	9	13	22	Moyennement dense
	13.05-13.50	8	14	21	35	Dense
	14.55-15.00	11	23	24	57	Très dense
SC-22	1.55-2.00	7	12	17	29	Moyennement dense
	3.00-3.45	6	10	14	24	Moyennement dense
	4.55-5.00	8	12	19	31	Dense
	6.00-6.45	5	9	13	22	Moyennement dense

	7.55-8.00	7	11	15	26	Moyennement dense
	9.00-9.45	11	15	20	35	Dense
	13.00-13.45	11	14	21	35	Dense

➤ Interprétation du tableau essais SPT :

On observe qu'au niveau des dépôts fins (limons, sables et argiles), relativement denses, la résistance à la pénétration varie entre environ 40 et 80 bars, avec des refus atteignant jusqu'à 13 mètres de profondeur. En revanche, au niveau des dépôts grossiers, les valeurs de résistance sont généralement supérieures à 100 bars, avec des refus tant superficiels que profonds, probablement obtenus au contact d'éléments grossiers (graviers, cailloux...) ou de matériaux très résistants.

VI.8 Lot ouvrage d'art :

Dans le tronçon objet d'étude, du PK 28+500 au PK 41+892, on a un 7 ouvrage d'art

La campagne d'investigation pour ce lot a consisté à la réalisation de :

A) Essais in situ :

- Sondage carotté.
- Essai pressiométrique.
- Essais pénétromètre dynamique jusqu'au refus.

B) Essais au laboratoire :

- Essais d'identification physique (G , γ , W , I_p ..).
- Essai cisaillement rectiligne.
- Essai Oedométrique.

VI.9 Localisation des zones à risques :

VI.9.1 Zone inondable :

Les tronçons compris entre (PK 29+800 au PK 34+550) et (PK 36+400 au PK 38+800) s'inscrivent dans une zone géographique particulièrement sensible aux aléas hydrologiques. La proximité des oueds et la faible déclivité du terrain naturel exposent cette section aux crues périodiques et aux débordements, pouvant atteindre des niveaux significatifs lors des épisodes pluvieux intenses. Ces conditions défavorables engendrent un risque majeur d'instabilité des remblais ferroviaires, se manifestant par l'érosion des talus, la saturation des matériaux entraînant une perte de portance, ainsi que la migration des fines pouvant déstabiliser progressivement la plateforme.

Face à ces contraintes, un ensemble de dispositions techniques spécifiques a été retenu. Les remblais ont d'abord été dimensionnés en intégrant les paramètres hydrauliques de la zone, avec des profils en travers adaptés pour assurer la stabilité en condition immergée. Les talus exposés aux écoulements sont protégés par des enrochements ou perrés, résistant à l'érosion et aux affouillements en période de crue. Un géotextile anti-contaminant est disposé à l'interface entre le terrain naturel et le remblai afin d'empêcher la migration des particules fines depuis le sol de fondation vers les couches granulaires supérieures. Enfin, des matériaux de type (zone Inondable) sont utilisés depuis le fond de forme jusqu'à la cote NPHE + 0,50 m,

garantissant le maintien des caractéristiques mécaniques du remblai même en cas de submersion.

L'ensemble de ces dispositions permet d'assurer la stabilité, la durabilité et la sécurité de la plateforme ferroviaire face aux aléas climatiques et hydrologiques propres.



Figure VI-5 : Localisation des zones inondables le long du tracé étudié.

VI.9.2 Aggressivité du sol :

Les analyses chimiques montrent que le sol est non organique, et que certaines zones présentent une agressivité modérée à élevée (notamment en raison de teneurs élevées en sulfates et chlorures). Des précautions sont donc nécessaires dans ces secteurs : utilisation de ciment résistant aux sulfates (C.R.S), rapport eau/ciment optimal, enrobage suffisant des armatures. Ces mesures garantissent la durabilité et la stabilité à long terme des ouvrages.

VI.9.3 Sol de faible portance QS0 :

D'après les résultats des essais en laboratoire nous distinguons des sections de portance QS1 et d'autres de portance QS0. Pour celles qui sont de classe QS0, une excavation de 2m de profondeur et un remplacement du matériau de meilleure portance sont nécessaires. Le tableau ci-dessous présente les sections de portance QS0 de notre projet.

Tableau VI-8 : Sections de faible portance QS0.

PK	Classe du sol	Solution
29+800 au 34+550	QS0	Excavation a 2m de la profondeur du matériau et le remplacer par un autre de meilleure qualité.
36+400 au 38+800		

VI.10 Gîtes d'emprunts et carrières :

Aux abords du tracé, une recherche de matériaux d'emprunt et des carrières a été effectuée en fonction de la géologie locale. En effet, sur la base de l'examen de la carte géologique et des observations de terrain, il a été constaté la présence de formations géologiques porteuses de gîtes d'emprunts pour matériaux de remblais. Il s'agit de terrains sédimentaires formés de sables et graves très compacte ainsi que des grès et des grès graniteux pour les carrières.

Tableau VI-9 : Gîte d'emprunt proposé.

N °	Distance tracé (Km)	Accès	Matériau à explorer	Possible utilisation	Dimension de gîte		UIC
					S (m3)	V (m3)	QS1
01	A coté	Facile	Tuf	En remblai	99.750	605.000	QS1
02	A coté	Facile	Tuf	En remblai	259.500	648.750	QS1
03	A coté	Facile	Tuf	En remblai	242.000	249.375	QS1
04	à 6,5 km du P.K. 40+640	Facile	Tuf	En remblai	294.223	882.669	QS1
05	à 9,5 km du P.K. 40+640	Facile	Tuf	En remblai	463.608	1.390.824	QS1

Tableau VI-10 : Carrières proposées.

N °	Carrière	Utilisation possible
01	Hammer Khadou	-Ballast -Sous ballast -Enrochement 0/200 -Enrochement 0/500
02	COSIDER carrières el Hachimia / Bouira	
03	EURL EPTTRS	



Figure VI-6 : Position du gite d'emprunt par rapport à notre tracé sur Google Earth.

VI.11 Conclusion :

L'étude géologique et géotechnique a permis une exploration approfondie du contexte environnemental et géologique du projet. À travers les essais in-situ et en laboratoire, nous avons pu détailler les caractéristiques des sols et évaluer les risques géotechniques tels que les zones inondables, les zones humides et l'agressivité du sol, ainsi que les différentes vérifications nécessaires pour notre projet tel que le calcul de stabilité des talus au glissement, au poinçonnement et au tassement.

Ces données ont été fondamentales pour orienter la conception de solutions sur mesure, garantissant ainsi la stabilité et la durabilité de l'ensemble de l'infrastructure.

CHAPITRE VII
ASSISE FERROVLAIRE

CHAPITRE VII. ASSISE FERROVIAIRE :

VII.1 Introduction :

L'assise ferroviaire joue un rôle essentiel dans la stabilité et la durabilité d'une voie ferrée. Elle permet de répartir les charges transmises par le passage des trains et de les transférer progressivement au sol naturel. Pour qu'elle remplisse pleinement sa fonction, son dimensionnement doit être rigoureux et adapté aux caractéristiques du terrain, du trafic et des matériaux utilisés. Ce chapitre aborde les bases du dimensionnement de l'assise ferroviaire, en s'appuyant sur les principes techniques et les exigences pratiques rencontrées dans les projets ferroviaires.

VII.2 Structure d'assise ferroviaire :

La structure d'assise constitue la base de l'infrastructure ferroviaire sur laquelle repose la voie. Elle joue un rôle essentiel dans la répartition des efforts mécaniques et dans la stabilité de l'ensemble de la voie ferrée. Fonctions principales de la structure d'assise :

- Répartir les charges transmises par les traverses sur l'ensemble de la plate-forme.
- Amortir les vibrations induites par le passage des trains.
- Assurer la stabilité longitudinale et latérale de la voie.
- Maintenir la rigidité de la voie, son nivellement ainsi qu'un bon drainage des eaux.
- **Composition des couches d'assise :**
 - Le ballast, situé en surface, assure la transmission des charges, le drainage et la tenue géométrique de la voie.
 - Le sous-ballast, placé sous le ballast, protège les couches inférieures et améliore la répartition des charges.
 - La couche de fondation, qui soutient les couches supérieures, contribue à la stabilité globale.
 - La couche anti-contaminante, lorsqu'elle est mise en œuvre, empêche les remontées de fines provenant du sol naturel vers les couches supérieures.

Ces couches interagissent de manière solidaire pour absorber les sollicitations mécaniques dues au trafic ferroviaire.

- **Les caractéristiques et épaisseurs de ces couches sont définies en fonction de plusieurs paramètres :**
 - Le type de circulation prévue : nature des trains, charge par essieu, trafic annuel, et vitesse maximale.
 - Les composants de la voie : type de rail, nature et granulométrie du ballast, type de traverses et de fixations.
 - Les propriétés géotechniques de la plate-forme : portance, perméabilité, état hydrique, et conditions hydrologiques locales.
 - Les conditions climatiques du site.

Ces éléments permettent d'adapter la conception de l'assise pour garantir la performance, la durabilité et la sécurité de la voie.

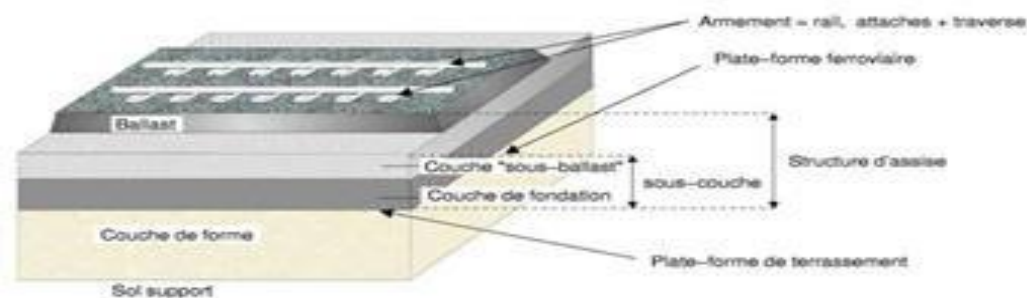


Figure VII-1 : Structure des couches de l'assise ferroviaire.

VII.3 Stratification de l'assise ferroviaire :

D'après la fiche UIC 719, la construction de la structure d'assise est constituée comme suit :

VII.3.1 Couche de ballast :

Selon la fiche UIC 719, le ballast est considéré comme partie intégrante de la superstructure de la voie. Cette couche est composée de granulats d'une granulométrie grossière de 31,5/50 mm, avec une épaisseur de 25 à 30 mm. Elle est positionnée dans la partie supérieure des structures d'assise et entre les traverses, et provient du concassage de roches dures.

Le ballast doit présenter des qualités de haute résistance à l'usure et respecter les caractéristiques mécaniques suivantes :

- Valeur de propreté VBS ≤ 1 .
- Résistance à la fragmentation (essai Los Angeles) : $LA \leq 25$ et $LA + MDE \leq 40$.
- Résistance à la dégradation granulométrique : $DRG \leq 40\%$.

Le ballast utilisé doit être conforme au document des spécifications techniques (ST590B).

VII.3.2 Sous-couche :

La sous-couche constitue un élément essentiel de la structure d'assise, placée entre le ballast et la plate-forme. Elle est composée de matériaux granulaires bien calibrés (type grave 0/31,5) et peut se présenter en une ou plusieurs couches : une couche de sous-ballast, une couche de fondation, et, si nécessaire, une couche anti-contaminante.

- **Fonctions principales de la sous-couche :**
 - Renforcement de la portance : Elle améliore la capacité portante de l'infrastructure en répartissant efficacement les charges transmises par la voie.
 - Réduction des vibrations : En absorbant une partie des ondes vibratoires générées par le passage des trains, elle contribue au confort et à la stabilité de la voie.
 - Protection contre la contamination : Elle agit comme une barrière empêchant la migration des particules fines du sol vers le ballast, préservant ainsi sa fonction mécanique.
 - Prévention de l'érosion et du gel : Elle limite les phénomènes de dégradation dus à l'eau et aux cycles de gel-dégel.

- Assainissement : Grâce à sa perméabilité, elle permet un drainage efficace des eaux de pluie, évitant l'accumulation d'humidité sous la voie.
- **Caractéristiques techniques recommandées :**
 - Valeur de propreté (VBS) : ≤ 1 .
 - Coefficient de forme (A) : ≤ 25 %.
 - Résistance mécanique (LA + MDE) : ≤ 40 .
- **Couche anti-contaminante :**

Lorsque le sol support (plate-forme) présente une faible qualité (type PF1), une couche filtrante est ajoutée. Elle est constituée de sable propre et peut être renforcée par un géotextile ou une géomembrane pour bloquer les remontées de fines et assurer une séparation durable entre les matériaux.

VII.3.3 Plate-forme :

VII.3.3.1 Définition de la plate-forme :

La plate-forme ferroviaire constitue le support fondamental de la voie ferrée. Elle est composée de plusieurs couches de matériaux et repose soit sur des terres compactées en remblai, soit directement sur le sol naturel en cas de déblai.

- **Fonctions principales de la plate-forme : •**
 - Assurer l'évacuation des eaux de pluie et des eaux de ruissellement vers les dispositifs de drainage.
 - Atténuer les vibrations provoquées par le passage des trains.
 - Réduire la remontée des eaux souterraines vers la surface.
 - Empêcher la migration des particules fines (argiles, limons) du sol vers le ballast, ce qui préserverait sa stabilité.
- **Éléments à vérifier pour évaluer l'efficacité de la plate-forme : •**
 - Tester la résistance mécanique de la plate-forme pour garantir sa stabilité sous les charges ferroviaires.
 - Étudier les caractéristiques géotechniques des sols sur lesquels elle repose.
 - S'assurer que la conception et la réalisation respectent les normes techniques en vigueur.
 - Veiller à ce que la couche supérieure du sol ne soit pas immergée dans la nappe phréatique. Avant tout rabattement éventuel, il est indispensable de mesurer avec précision le niveau de la nappe.

VII.3.3.2 La classe de portance de la plateforme :

D'après les spécifications du code UIC 719 R, nous identifions les trois catégories de plateformes suivantes en fonction de leur capacité portante : P1 (médiocre qualité). P2 (moyenne qualité) et P3 (bonne qualité). Chaque catégorie de plateforme a sa propre capacité à supporter du poids : médiocre pour charges limitées, moyenne pour poids moyen, et haute qualité pour charges importantes grâce à des sols de meilleure qualité. En conséquent,

CHAPITRE VII: ASSISE FERROVIAIRE

l'épaisseur de la couche de forme dépendra du type de la qualité de sol support et de la classe de portance envisagée pour la plateforme.

Le tableau ci-dessous présente les classes de plateforme en fonction de la qualité du sol support :

Tableau VII-1 : La classe la portance de la plate-forme.

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

VII.3.3.3 Plate-forme proposée :

Selon les spécifications du projet de la ligne ferroviaire Kasr El Boukhari -Boughezoul, la ligne peut offrir un trafic voyageur journalier important avec vitesse 220 km/h et un trafic fret d'une vitesse de 100 km/h. donc, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type P3 (qualifiée de bonne plateforme).

VII.3.3.4 Couche de forme :

Pour garantir une plate-forme de qualité PF3, il a été convenu de mettre en place une couche de forme de 50 cm d'épaisseur utilisant un matériau de qualité du sol QS3 dans les zones où le sol présente une qualité QS1 (d'après les caractéristiques géologiques et géotechniques).

- Ce choix a été fait pour garantir que la plateforme soit performante et stable.

VII.4 Dimensionnement de la structure d'assise :

VII.4.1 Calcul les épaisseurs minimales des couches de ballast et sous-ballast de pleine voie:

Le dimensionnement des épaisseurs des couches de ballast et sous-couche a été fait suivant la norme UIC 719 R, qui montre l'épaisseur de ballast et sous-ballast requise pour une ligne ferroviaire.

L'épaisseur est donnée par la formule suivante (UIC 719 R page 57) :

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

Avec :

Pour le cas du projet Kasr El Boukhari – Boughezoul

Paramètres	Valeurs (m)	Critère de choix
E	0.45	Pour une plate-forme de classe de portance P3
a	0	Les groupes uic 1 et 2 (selon UIC 714)
b	0.05	Pour les traverses en béton de longueur $L = 2,415$ m
c	0	Un dimensionnement normal.
d	0.05	(Par déduction à la charge 225 KN)
f	0	Pour une plate-forme de classe de portance P3, des lignes parcourues a grande vitesse
g	0	Pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS3
e (m)	$0.45+0.05+0.05=0.55$	

On adopté l'épaisseur des couches d'assise 0,60 m.

La couche de ballast mesure 30 cm pour des vitesses comprise entre 120 km/h à 200 km/h. ce qui correspond à notre situation suivant (fiche UIC-719 R).

VII.4.2 Structure d'assise retenue :

Une voie ferrée est un composé des éléments répondant chacun à des normes précises selon la vitesse et autres paramètres. Le choix des éléments et les matériaux de la voie est une partie importante, qui influé à la fois sur la sécurité et l'économie. Après l'étude géologique et géotechnique et les caractéristiques de la voie (traverses, charge d'essieu).

Voici le Profil type des couches d'assise dans notre le projet :

Tableau VII-2 : Structure de la voie.

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	Pierre cassée 25 à 50 mm.
Sous-Ballast	15	GNT (0 /20 mm)
Couche de fondation	15	GNT (0 /31.5 mm)
Couche de forme de type QS3	50	GNT (0 /31.5 mm)

VII.5 Conclusion :

Le dimensionnement de l'assise ferroviaire ne se limite pas à une simple application de formules : il repose sur une bonne connaissance géotechnique du sol, des contraintes d'exploitation et des matériaux disponibles. Une assise bien conçue réduit les risques de déformation, diminue les coûts d'entretien et améliore la performance globale de la voie. À travers ce chapitre, on comprend que chaque couche de l'assise, bien dimensionnée et bien mise en œuvre, contribue directement à la fiabilité de l'infrastructure ferroviaire.

CHAPITRE VIII

PROFIL EN TRAVERS

CHAPITRE VIII. PROFIL EN TRAVERS :

VIII.1 Introduction :

Le profil en travers constitue une représentation transversale de l'infrastructure ferroviaire, perpendiculairement à son axe longitudinal. Cet élément fondamental de conception illustre avec précision la configuration des différentes couches structurales, les variations altimétriques du terrain naturel, ainsi que les caractéristiques dimensionnelles et géométriques de la voie projetée.

C'est un Élément essentiel dans la conception ferroviaire, il facilite le calcul des volumes de terrassement, identifie les zones à risque et contribue à l'optimisation technique et environnementale du projet.

VIII.2 Les éléments du profil en travers :

Tous les éléments suivants doivent être représentés dans le profil en travers :

VIII.2.1 Les éléments de superstructure :

La superstructure ferroviaire comprend les éléments suivants qui doivent être intégrés dans la représentation du profil en travers :

- Type des rails mis en œuvre et l'écartement normalisé de la voie.
- Le type de la traverse utilisé.
- Système de fixation rail-traverse.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.
- Valeurs maximales de dévers en alignement courbe.

VIII.2.2 Les éléments de l'infrastructure :

L'infrastructure ferroviaire regroupe les composantes suivantes :

- Couche de ballast avec spécification des caractéristiques granulométriques et épaisseurs de chaque couche.
- Plate-forme ferroviaire supportant l'ensemble de la structure.
- Pente transversale des diverses couches constitutives.
- Déclivités latérales de la plate-forme.

VIII.2.3 Les éléments du talus :

Les talus présentent des caractéristiques spécifiques en fonction de leur nature (déblai ou remblai) et des propriétés géotechniques des matériaux concernés.

VIII.2.4 Les éléments d'assainissement :

Le système d'assainissement comprend :

- Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des drains.
- Fossés longitudinaux.

VIII.3 Profil en travers de notre projet d'étude :

Le profil en travers type de ce projet correspond à double voies (voies mixtes), avec une largeur de plateforme de 13.6 m, que ce soit en remblais.

La voie ferrée est constituée de rails UIC-60 espacés de 1435 mm, reposant sur des traverses Monoblocs EN BP M450, elles-mêmes installées sur un couche ballast de 0,30 m d'épaisseur, avec une pente latérale de 3H/2V. La pente latérale de la plateforme est de 4%.

La hauteur d'armement (différence de niveau entre la plateforme et FSR) est de 0.731m calculé comme suite :

- Hauteur du rail : 0,172m.
- Hauteur de la traverse : 0.220m.
- Semelle cannelée de 0.009m.
- Hauteur minimale de ballast : 0.30m.

Dans les zones de remblais, les talus ont été définis avec une inclinaison de 2H/1V pour les talus en remblais et 3H/2V pour les talus en déblais.

Des fossés longitudinaux de dimensions $h = 0.5$ m ; $b = 0.5$ m avec une pente de 1H/1V ont été construits au pied des talus.

NB : Lors d'un raccordement en pleine courbe, les épaisseurs de toutes les couches, à l'exception du ballast, resteront fixes. Pour obtenir le dévers requis, l'épaisseur du ballast sera augmentée.

VIII.4 Calcul des cubatures :

Les volumes de terrassement représentent les variations de volume des déblais et des remblais dans le projet, visant à créer une surface uniforme en alignement avec la trajectoire du projet. La quantification volumétrique de ces opérations s'appuie sur trois paramètres fondamentaux :

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

Dans notre projet, les volumes de terrassement ont été calculés à l'aide du logiciel **Covadis 2017**. Les résultats détaillés des calculs de cubatures sont synthétisés dans un tableau récapitulatif :

Tableau VIII-1 : Les cubatures de terrassement et les couches d'assises.

Couche (volume m^3)			
Remblai	Déblais	Ballast	Sous ballast
982 288	82 492	55 584	27 990
Couche de fondation	Couche de forme	Décapage	
29 302	80 571	56 384	

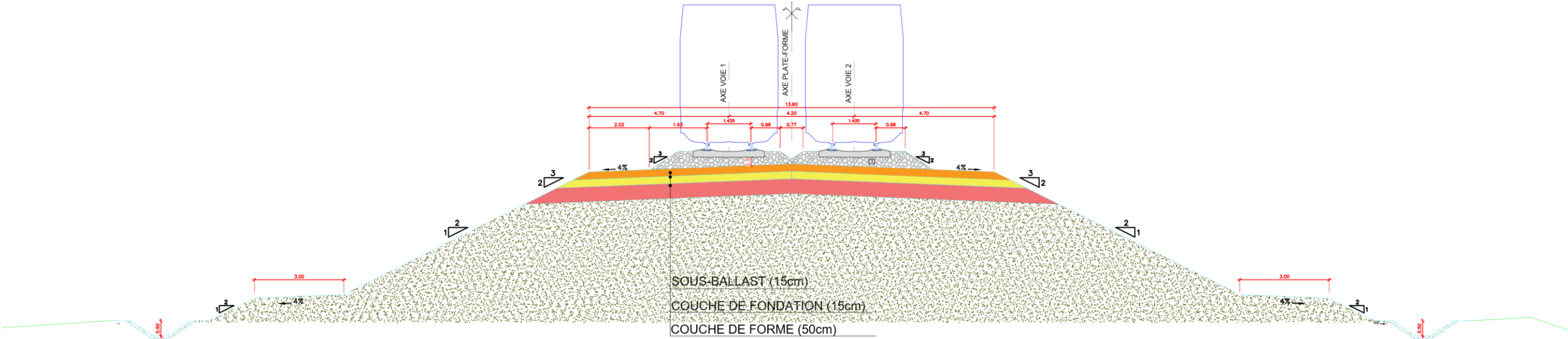
VIII.5 Conclusion :

Les profils en travers représentent un élément déterminant dans l'élaboration et la réalisation des projets d'infrastructure ferroviaire. Leur conception rigoureuse permet d'atteindre un équilibre optimal entre les impératifs techniques de sécurité, les considérations économiques liées à l'optimisation des coûts, et les exigences environnementales inhérentes aux principes du développement durable

PROFIL EN TRAVERS TYPE ZONE COURANTE

Echelle1/150:

Remblai > 6m

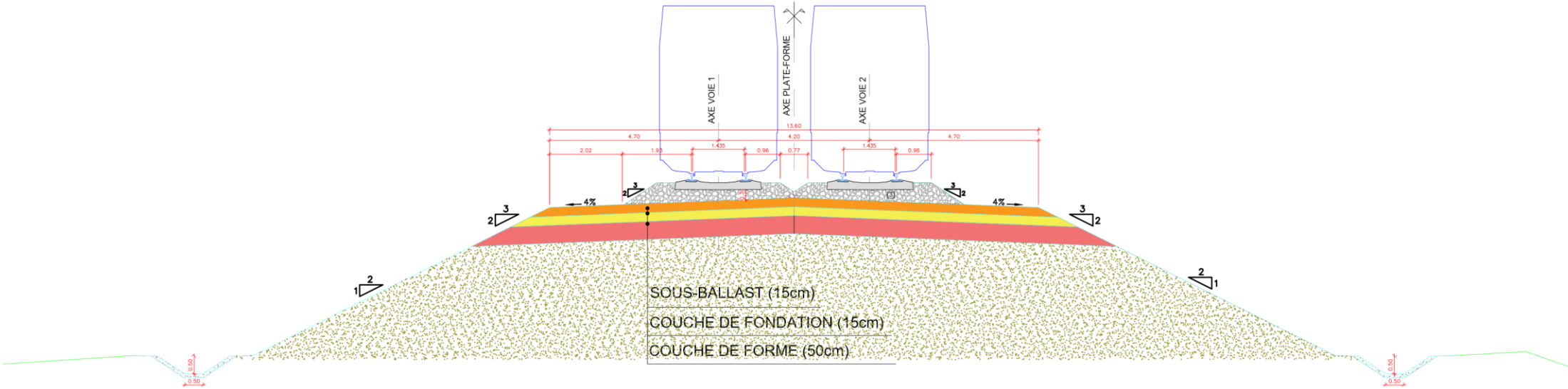


Remblai avec sols des types QS1 (code UIC 719 R)

PROFIL EN TRAVERS TYPE ZONE COURANTE

Echelle1/150:

Remblai < 6m

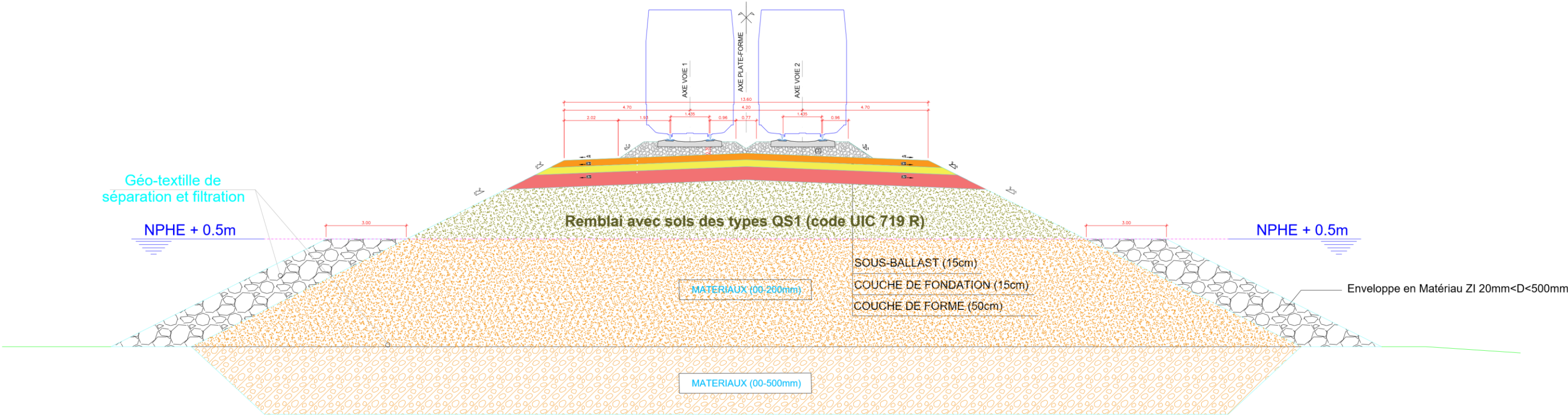


Remblai avec sols des types QS1 (code UIC 719 R)

PROFIL EN TRAVERS TYPE ZONE COURANTE

Echelle1/150:

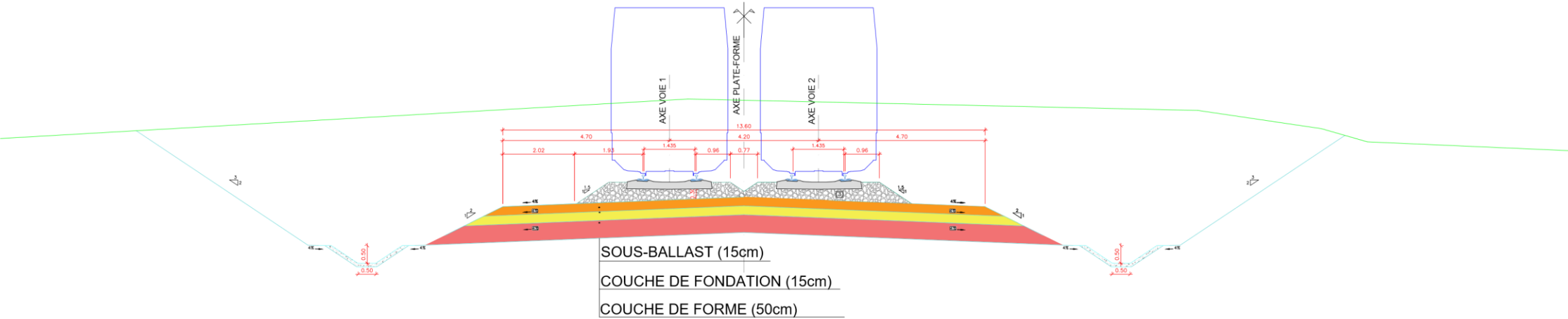
Remblai en zone inondable



PROFIL EN TRAVERS TYPE ZONE COURANTE

Echelle1/150:

Deblai < 6m



CHAPITRE IX
TERRASSEMENT ET DES
OUVRAGES

CHAPITRE IX. TERRASSEMENT ET DES OUVRAGES :

IX.1 Introduction :

Les travaux de terrassement constituent une étape fondamentale dans la réalisation d'un projet ferroviaire. Ils regroupent l'ensemble des opérations de déblai, de remblai, de compactage et de nivellement visant à adapter le terrain naturel au profil du tracé, tout en garantissant une assise stable et durable pour la plateforme ferroviaire. En parallèle, les ouvrages d'art – tels que les ponts, viaducs, passages inférieurs ou inférieurs et tunnels – permettent de franchir les obstacles naturels ou artificiels tout en assurant la continuité du tracé.

IX.2 Les terrassements :

Les terrassements occupent une place centrale dans la construction des infrastructures ferroviaires. Ils regroupent un ensemble d'opérations destinées à modeler le terrain naturel afin de créer une plateforme stable, régulière et conforme aux exigences géométriques du tracé. Ces travaux incluent notamment l'élimination de la terre végétale pour atteindre un sol apte à supporter les charges, l'exécution de déblais et de remblais pour ajuster le niveau du terrain, ainsi que la mise en place successive des différentes couches de structure, telles que la sous couche et le ballast. La rigueur d'exécution est déterminante pour garantir la performance, la durabilité et la sécurité de la future voie ferrée. Ces interventions reposent sur des études géotechniques approfondies, indispensables pour adapter les méthodes de terrassement aux caractéristiques du sol et prévenir les risques associés.

IX.2.1 Objectifs et enjeux des terrassements :

Les terrassements répondent à plusieurs objectifs techniques et environnementaux majeurs, qui conditionnent la qualité globale de l'infrastructure ferroviaire :

- Assurer la formation d'une plateforme stable, plane et homogène, indispensable à la pose et au bon comportement de la voie ferrée sous trafic.
- Employer des matériaux adaptés aux critères de portance, de compacité et de durabilité (granulométrie, plasticité, sensibilité à l'eau).
- Protéger les zones sensibles (milieux humides, habitats naturels, zones instables) à travers des mesures de traitement ou d'adaptation.
- Concevoir des talus et des remblais aux pentes maîtrisées pour garantir leur stabilité à court et long terme, notamment vis-à-vis des risques de glissement.
- Intégrer des dispositifs de drainage efficaces pour limiter l'érosion, maîtriser les eaux de ruissellement et éviter les accumulations néfastes.
- Réduire les nuisances vibratoires et sonores par un traitement approprié du substrat et de la structure de voie.
- Répondre aux exigences réglementaires en matière de protection de l'environnement et de respect des équilibres écologiques locaux.
- Contribuer à une gestion raisonnée des ressources naturelles, en particulier en préservant les sols fertiles et en optimisant l'usage de l'eau.

IX.2.2 Décapage :

Phase initiale de préparation du terrain consistant à retirer les couches superficielles non porteuses, qu'il s'agisse de terre végétale riche en matières organiques ou de matériaux meubles et instables tels que les sables éoliens et dépôts désertiques. Cette opération a pour but d'atteindre un substrat stable et apte à supporter les charges de la structure ferroviaire. Les matériaux extraits, selon leur nature, peuvent être évacués ou valorisés dans des opérations spécifiques, comme la stabilisation des talus ou le contrôle de l'érosion. L'épaisseur de décapage varie généralement entre 0,20 m et 0,50 m.

IX.2.3 Remblai :

Le remblai consiste à apporter et compacter des matériaux pour élever le terrain. Ces matériaux doivent répondre à des critères stricts de portance, granulométrie et humidité. Ils sont mis en œuvre en couches successives, nivelées et compactées selon des normes, pour assurer une assise stable et durable capable de supporter les charges dynamiques de la voie ferrée.

IX.2.3.1 Conditions de réalisation des remblais :

La réalisation de remblais de qualité, sûrs, stables et durables nécessite le respect strict des conditions suivantes :

- Conformité obligatoire aux normes, notamment le GTR (Guide des Terrassements Routiers) et les spécifications techniques de la SNTF, pour garantir qualité et durabilité.
- Choix de matériaux adaptés, évitant les sols très plastiques des classes A4 et les roches évolutives (gypses, argilites, schistes). Les matériaux argileux ou limoneux sableux peuvent être utilisés si leur qualité est conforme.
- Mise en œuvre par couches successives compactées avec des critères précis : densité sèche $\gamma_d \geq 95 \%$ de l'Optimum Proctor Modifié (OPM), module de déformation $EV2 \geq 45 \text{ MN/m}^2$ pour sols fins, et $EV2 \geq 60 \text{ MN/m}^2$ pour sols sableux et graveleux, afin d'assurer la stabilité et limiter les tassements.
- Mise en place d'une pente transversale minimale et d'un système de drainage performant pour prévenir toute accumulation d'eau et éviter l'affaiblissement du remblai.
- Contrôle régulier pendant la construction pour détecter et corriger rapidement tout problème susceptible de compromettre la stabilité.

IX.2.4 Déblais :

Le déblai correspond à l'excavation maîtrisée des matériaux du terrain naturel afin d'abaisser le niveau du sol jusqu'à la cote définie par le projet. Cette opération permet d'adapter le relief aux exigences géométriques et structurelles de la plateforme ferroviaire.

IX.2.4.1 Conditions d'excavation de déblai :

- Avant de commencer l'excavation, il faut bien étudier la nature du sol pour comprendre ses caractéristiques et ses risques.
- Il est important de vérifier la présence d'eau souterraine afin de prévoir des systèmes de drainage si nécessaire.

- La méthode d'excavation doit être choisie selon le type de sol et les contraintes du chantier. Les matériaux excavés doivent être triés et stockés correctement, puis évacués ou réutilisés selon les règles environnementales.
- Les talus doivent être taillés avec une pente adaptée pour éviter les effondrements. Si besoin, des soutènements temporaires doivent être installés.
- Un suivi régulier doit être mis en place pour détecter tout mouvement ou problème pendant l'excavation.
- Enfin, la sécurité du personnel est essentielle : il doit être formé, équipé et protégé tout au long des travaux.

IX.2.5 Pente des talus en déblai et en remblai :

Lors de la conception des ouvrages en terre, la stabilité des talus constitue un paramètre fondamental, que ce soit pour les déblais ou les remblais. Les inclinaisons retenues pour les pentes sont définies en fonction du rapport entre la base (V) et la hauteur (H), conformément aux recommandations du chapitre 07.2.2 « Ouvrages en terre » du référentiel technique de la SNTF.

Les pentes habituellement adoptées sont les suivantes :

Talus en déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2.5/1, 3/1.

Talus en remblai : 3/2, 2/1, 2/3.

Le choix de ces pentes repose sur une évaluation rigoureuse de plusieurs facteurs :

- Les caractéristiques mécaniques et hydriques des terrains en place (en déblai) et des matériaux utilisés pour les remblais.
- La hauteur totale de l'ouvrage en terre.
- Le relief naturel du site ainsi que les aléas environnementaux ou géologiques pouvant affecter la stabilité de l'ensemble.

Les pentes adoptées pour notre projet sont :

- Cas remblais : 2H/1V (2 horizontal pour 1 vertical).
- Cas de déblais : 3H/2V (3 horizontal pour 2 vertical).

Ces pentes sont établies pour assurer la stabilité globale en tenant compte des propriétés géotechniques des terrains, de la hauteur de l'ouvrage, de la configuration topographique et des risques naturels.

IX.2.6 Étude de stabilité :

L'évaluation de la stabilité des ouvrages en terre constitue une étape essentielle pour assurer leur sécurité à court et à long terme. Elle repose sur l'analyse des propriétés mécaniques et hydrogéologiques des sols, notamment la densité apparente (γ), la cohésion (C) ainsi que l'angle de frottement interne (ϕ) de chaque horizon géotechnique. Critères de sécurité :

- $F_s \geq 1.5$ à long terme.
- $F_s \geq 1.3$ à court terme.
- $F_s \geq 1.0$ en situation accidentelle (séisme).

Dans notre projet on a utilisé logiciel GEO 5.0 2020 afin de déterminer la stabilité des talus.

➤ Cas remblai :

Le calcul de stabilité concerne les grands remblais avec des hauteurs importantes ($h \geq 6$ m).

Dans notre cas (le plus défavorable) on prend en considération que le de remblai au Pk 29+575 a été retenu pour l'analyse, avec une hauteur maximale de 10.27 m à l'axe.

Les caractéristiques des couches :

Tableau IX-1 : Les caractéristiques du sol en place.

Matériaux	Poids volumique (KN/m^3)	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Remblai courant	17.00	5.00	33.00
Sol support	16.00	99.00	7.30

NB : Les caractéristiques du sol de référence ont été adoptées conformément au rapport de COSIDER TP T127.

Pour les calculs, on a utilisé les caractéristiques suivantes :

- Une charge ferroviaire de référence de 30KN/m.
- Les calculs de stabilité sont réalisés en utilisant la méthode de Bishop.

Tableau IX-2 : Résultats du calcul de stabilité pour le remblai.

PK	H (m)	Pente du talus	Fs statique	1.57 > 1.5
29+575	10.27	2H/1V	1.57	

NB : Les résultats de calcul sont en **Annexe G**.

➤ Cas déblai :

Les hauteurs de tous les déblais détectés le long du tracé sont faibles donc on n'a pas effectué le calcul de stabilité.

IX.2.7 Protection des talus :

Compte tenu de la nature des sols rencontrés sur le tracé, une protection adaptée des talus en déblais et remblais est nécessaire pour garantir leur stabilité dans le temps. Une couche de terre végétale d'environ 0,30 m est donc appliquée en surface, accompagnée d'une végétalisation par des espèces adaptées aux conditions climatiques locales.

Cette protection a plusieurs fonctions :

- Limiter la dégradation des couches superficielles exposées aux intempéries.
- Réduire l'impact des agents climatiques tels que l'eau de pluie, le gel et l'ensoleillement excessif.
- Atténuer l'érosion liée au ruissellement et empêcher la formation de ravines.
- Favoriser une meilleure intégration des talus dans leur environnement naturel.

IX.3 Les ouvrages :

L'optimisation du tracé ferroviaire nécessite de répondre simultanément à des exigences techniques, économiques et réglementaires. Pour ce faire, il est indispensable d'intégrer dans la conception l'ensemble des ouvrages fonctionnels imposés par les contraintes du terrain et les standards en application. Ainsi, le tracé doit inclure les ponts rails, les passages inférieurs, les ponts routiers, ainsi que les ouvrages hydrauliques et les dispositifs de protection. L'ensemble de ces éléments doit être conçu conformément aux prescriptions des normes UIC, SNTF et européennes, afin de garantir la sécurité, la durabilité et la compatibilité du projet avec les référentiels reconnus.

IX.3.1 Influence sur le choix des ouvrages :

Le choix du type d'ouvrage est influencé par deux types de contraintes principales :

- **Données naturelles :** Débit d'eau, type de sol, conditions géotechniques, contraintes topographiques et climatiques.
- **Exigences techniques :** Portée nécessaire, type de charges, méthodes de fixation, gabarit, tirant d'air, adaptation architecturale régionale, et contraintes spécifiques de construction

IX.3.2 Le croisement route-rail :

Le problème de croisement doit prendre en compte la nature et le débit de la voie pour analyser chaque cas selon la vitesse de base maximale. Trois solutions sont envisageables :

- **Passage supérieur :** Utilisé pour les vitesses élevées et selon les contraintes topographiques.
- **Passage à niveau :** Interdit si la vitesse du train dépasse 100 km/h, sauf pour des pistes à faible débit.
- **Passage inférieur :** Rarement utilisé, seulement si la topographie l'exige.



Figure IX-1 : Passage à niveau.



Figure IX-2 : Passage supérieur.

IX.3.3 Les ouvrages d'art du projet :

IX.3.3.1 Rétablissement routier :

On ne prévoit pas de passages à niveau en raison de la vitesse de circulation de 160 km/h. Les intersections avec les chemins communaux ou routes nécessitent l'installation de passages supérieurs pour assurer un passage sécurisé au-dessus des voies ferrées.

Tableau IX-3 : Liste de rétablissement routier.

PK de l'ouvrage	Obstacle à franchir	Ouvrages projeté
29+110	CC	Passage inférieur
34+550	RN 40	Passage inférieur
39+912	RN 01	Passage inférieur



Figure IX-3 : Passage inférieur.

IX.3.3.2 Les ouvrages hydrauliques :

Selon l'importance des cours d'eau franchis, deux types d'ouvrages hydrauliques sont envisagés:

- **Buses** : Pour les cours d'eau de petite taille et à faible débit.
- **Dalots** : Pour les cours d'eau les plus importants et à grand débit.

Les ouvrages hydrauliques sont dimensionnés selon les études hydrologique et hydraulique (comme mentionné dans le chapitre V.).

IX.3.3.3 Protection des conduites électriques :

Dans le cadre de notre projet, le tracé ferroviaire intersecte des lignes électriques de basse, moyenne et haute tension. Afin d'assurer la sécurité des installations et des personnes, ainsi que la pérennité des réseaux, des solutions adaptées sont mises en œuvre pour le confinement et l'effacement de ces lignes. Le polyéthylène est particulièrement utilisé pour l'enfouissement des câbles HT et MT, en raison de sa haute résistance aux contraintes mécaniques, chimiques et thermiques. Les traversées sont également protégées par des gaines rigides en acier ou en PVC, selon la tension et les contraintes du site, complétées par des dispositifs de signalisation et de repérage en surface. Cette approche garantit la conformité aux normes techniques et la sécurité opérationnelle du chantier et de l'exploitation future.

- Notre tracé traverse les lignes électriques comme illustre le tableau suivant :

Tableau IX-4 : Liste des lignes électriques à franchir.

Nature de réseau	PK	Situation sur PL
Ligne électrique moyennes tension MT.	28+766	Remblais
	28+831	
	34+144	
Lignes électriques basses tension BT	33+933	Remblais
	33+935	
	33+938	

IX.4 Conclusion :

L'importance capitale des travaux de terrassement et de construction des ouvrages d'art dans la réussite du projet ferroviaire entre PK 28+500 et PK 41+892 nécessite une attention méticuleuse aux détails et une coopération étroite entre tous les intervenants. Le respect rigoureux des spécifications techniques, des normes de qualité et des procédures de contrôle garantit la création d'un réseau ferroviaire sécurisé, fiable et efficace. L'investissement dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art contribue au développement durable des infrastructures de transport et au progrès de notre société moderne.

CHAPITRE X
CONCEPTION DE LA GARE
BOUGHEZOUL

CHAPITRE X. CONCEPTION DE LA GARE BOUGHEZOUL :

X.1 Introduction :

Dans un projet de chemin de fer, la gare symbolise un lieu public vivant et central où se rencontrent les rails et convergent les courants de passagers. C'est un point de connexion essentiel où les mouvements de départ et d'arrivée se coordonnent pour garantir la souplesse et l'efficacité du système de transport. Ce chapitre propose une analyse structurée de la conception des gares ferroviaires, en décrivant chaque phase du processus. Nous étudierons une gamme de critères, des facteurs techniques aux impératifs opérationnels, pour acquérir une connaissance approfondie des mesures requises pour construire des infrastructures efficaces, adaptées aux attentes des utilisateurs et des exploitants ferroviaires.

X.2 Type de gare :

- **Gare voyageurs** : installation conçue pour l'accueil, l'embarquement et le débarquement des voyageurs. Elle englobe généralement des quais, un bâtiment pour les voyageurs, ainsi que les équipements d'accueil, de contrôle et d'information pour la gestion du flux de passagers.
- **Gare marchandises** : installation conçue pour les opérations de chargement, le déchargement et le transit des marchandises. Elle est équipée de voies de service, des quais.
- **Gare mixte** : lieu qui fusionne les rôles de gare pour voyageurs et de gare pour marchandises, fournissant simultanément des services aux voyageurs et pour le transport de fret.
- **Gare de croisement** : lieu où les trains peuvent se croiser, être dépassés ou stationner temporairement, surtout sur les voies uniques, pour assurer une exploitation fluide et régulière.

X.3 Étude de plan de masse d'une gare :

Lors de la création d'une gare ferroviaire, l'élaboration du plan de masse est une phase essentielle qui est déléguée au concepteur. Ce plan doit prendre en compte tous les éléments fondamentaux de l'infrastructure, en se basant sur trois critères techniques primordiaux :

- **Les catégories de voie** : elles conditionnent la structuration fonctionnelle de la gare en définissant le rôle opérationnel de chaque voie (voies principales, de service ...) et détermine, en conséquence les composants nécessaires de la gare.
- **Trafic ferroviaire** : représente l'un des paramètres majeurs dans la conception d'une gare. Sa nature et son volume permet d'évaluer l'importance de la gare, de calibrer les infrastructures et d'assurer une exploitation fluide et efficace.
- **Emplacement** : il influence à la fois le type de trafic attendu et les catégories de voies à prévoir.

L'intégration de ces aspects techniques assure une conception appropriée, ce qui garantit l'efficacité et la fluidité des activités dans la gare.

X.4 Aménagement de la gare :

X.4.1 Les installations d'une gare à voyageurs :

- **Le bâtiment de voyageurs** : Structure principale affectée à l'accueil des usagers, regroupant les fonctions de vente, d'information, de contrôle, de sécurité et les commodités liées au confort des passagers.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : regroupent les unités fonctionnelles destinées aux agents du chemin de fer, telles que les postes de signalisation, les bureaux d'exploitation et les locaux de supervision technique (les salles de contrôle et de surveillances).
- **Les quais** : sont des plateformes situées en bordure des voies, aménagées pour l'embarquement et le débarquement des voyageurs, généralement reliées au bâtiment voyageur par des cheminements adaptés tels que passerelles.
- **Les abris de quais** : sont des installations implantées sur les quais, conçues pour assurer la protection des voyageurs en attente contre les conditions climatiques défavorables (intempéries).
- **Les passages souterrains et les passerelles** : sont des structures intégrées à la gare, permettant aux voyageurs de franchir les voies en toute sécurité et d'accéder aux différents quais.

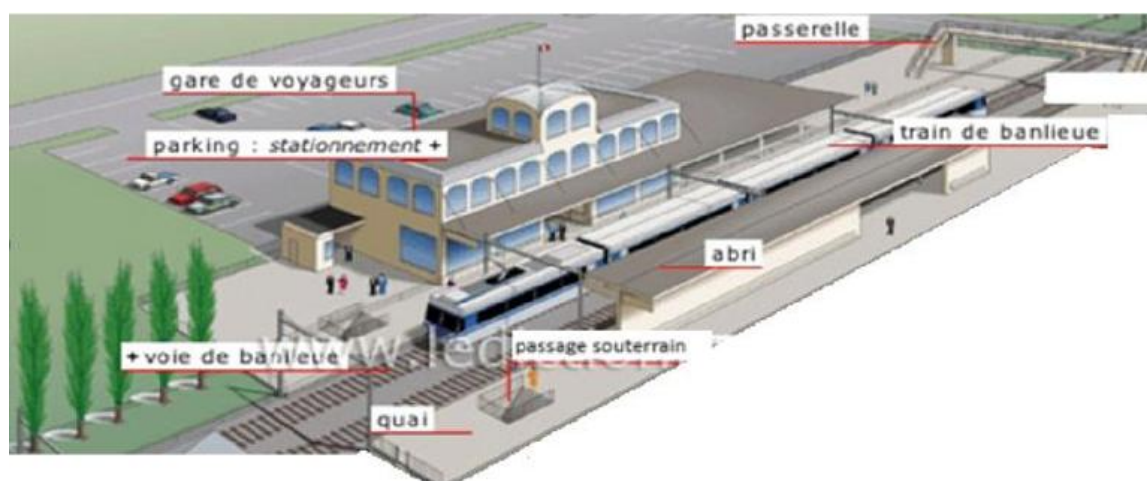


Figure X-1 : Les installations d'une gare à voyageurs.

X.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est une section de voie située après un signal fermé, réservée au trajet du train, permettant d'éviter toute collision en cas de non-respect de l'arrêt, en assurant une distance de sécurité jusqu'à un obstacle éventuel.

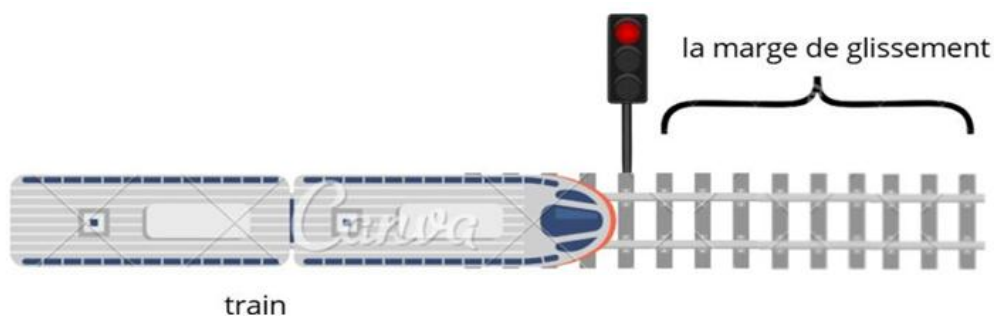


Figure X-2 : Schématisation de la marge de glissement.

X.4.2.1 La longueur de la marge de glissement LG :

Selon la norme UIC 719, le tableau suivant donne La longueur de la marge de glissement LG

Tableau X-1 : La longueur de la marge de glissement LG.

La longueur de la marge de glissement LG	Les conditions
50 à 200 m	Selon la vitesse de la ligne, la marge est utilisée pour des signaux de protection, d'entrée, intermédiaires ou de sortie.
200 m	Pour une vitesse $V \geq 60 \text{ km/h}$
100 m	Pour une vitesse $40 \text{ km/h} \leq V \leq 60 \text{ km/h}$
50 m	Pour une vitesse $V \leq 40 \text{ km/h}$

X.4.3 Garage franc GF :

Le garage franc désigne la zone de sécurité entre deux voies convergentes au niveau d'un aiguillage, matérialisée par des bornes implantées sur le ballast. Cette zone indique la position maximale jusqu'où un train peut s'arrêter sans empiéter sur l'itinéraire adjacent, garantissant ainsi la sécurité des circulations simultanées. La distance théorique entre l'axe de la voie directe et celui de la voie déviée est de 3,57 mètres, mais la position réelle du garage franc est reculée d'un mètre en amont pour renforcer la marge de sécurité.

La formule de calcul est comme suite :

$$GF = (3.57 / N) + 1$$

Avec : N= varie en fonction de l'ouverture de l'appareil de voie ($N=1/\tan(\alpha)$).

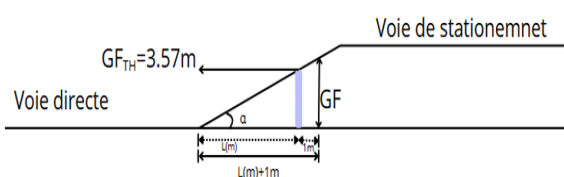


Figure X-3 : Schéma du garage franc.

X.4.4 La longueur utile de la voie de stationnement Lu :

La longueur utile de la voie (Lu) représente l'intervalle requis pour accueillir un train à l'arrêt sur la voie de dépassement, sans compromettre la fluidité du trafic sur la voie principale ou les itinéraires voisins. Elle est déterminée par la distance séparant deux points de garage franc. Cette longueur doit être suffisante pour permettre le stationnement, le croisement ou le dépassement des trains en toute sécurité. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

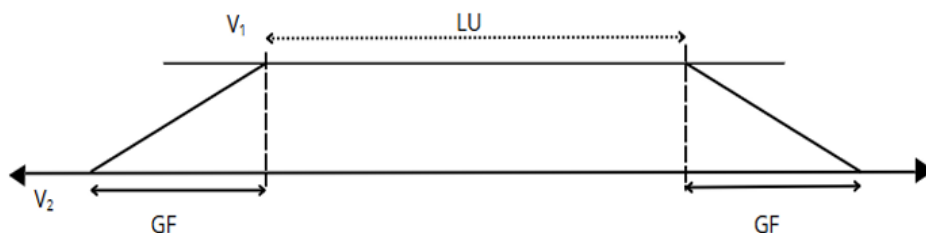


Figure X-4 : Schéma illustratif de la longueur utile.

X.4.5 Heurtoir :

C'est un dispositif implanté en bout de voie, destiné à immobiliser un train en cas d'arrêt insuffisant ou de dérive involontaire. Il a pour fonction de contenir le matériel roulant et d'en atténuer le choc, grâce à une structure équipée de tampons absorbant l'énergie cinétique au moment de l'impact.



Figure X-5 : Heurtoir.

X.5 Les caractéristiques géométriques de la gare :

X.5.1 La déclivité dans les gares :

La déclivité au niveau de la gare doit être strictement conforme aux normes d'exploitation, en tenant compte des opérations qui y sont effectuées (embarquement, stationnement, manœuvres, ...etc.). Dans le cadre de notre projet, une pente nulle (0 ‰) a été prévue afin de garantir la stabilité du matériel roulant et d'éviter tout déplacement non maîtrisé.

X.5.2 Quai :

Un quai est un aménagement dans une gare ferroviaire, destinée à assurer l'embarquement et le débarquement sécurisé des voyageurs. Les caractéristiques des quais, conformément aux normes définies par la SNTF, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau X-2 : Les caractéristiques du quai.

Largeur B (m)	Quai intermédiaire	$B \geq 8 \text{ m}$
	Quai extérieure	$B \geq 6 \text{ m}$
Longueur L (m)	Grand ligne	450 m
	Service régionale	350 m
	Banlieu	225 m
Hauteur (mm)	Quai haut	550 mm
	Quai bas	760 mm
Distance à l'axe de la voie (mm)	$L = 1650 + S$	La formule suivante donne la valeur de S : $S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$ R : rayon de la voie (m) I : écartement de la voie (mm)
	Normal	$e > 11.3$

Entre axe de la quai (m)	Minimal	$e > 9.3$
-----------------------------	---------	-----------

Par rapport la hauteur de quai :

- **H** : hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement.
- **L** : distance par rapport à l'axe de la voie, parallèles au plan de roulement.



Figure X-6 : La hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie.

X.5.3 Les appareils de voie :

L'exploitation des voies ferrées nécessite des dispositifs pour relier et interconnecter les itinéraires, appelés appareils de voie (ADV). Un appareil de voie est un dispositif de guidage qui permet le passage d'une voie à une autre tout en assurant la continuité des voies par prolongement.

X.5.3.1 Conditions générales :

Les appareils de voie et de communication doivent être installés avec une déclivité constante.

A proximité d'un ouvrage d'art, leur implantation doit respecter une distance minimale, proportionnelle à la longueur L de l'ouvrage, afin de garantir la sécurité structurelle et d'éviter toute interaction défavorable. Ces dispositions doivent être intégrées dès la phase de conception, conformément aux normes techniques en vigueur.

Tableau X-3 : Longueur de l'appareil de voie.

L_{min}	≥ 20 m	≥ 50 m	≥ 50 m
Longueur de l'appareil	$L \leq 30$ m	$30 \text{ m} < L \leq 90$ m	$L > 90$ m depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation

X.5.3.2 L'implantation des appareils de voie :

L'implantation des appareils de voie devra respecter les longueurs minimales définies pour le tracé en plan, conformément aux prescriptions indiquées ci-après.

Tableau X-4 : Règles d'implantation des appareils de voie.

En pointe :	La longueur minimale d'alignement (L_1) doit être égale à $V_d/2$, où V_d (km/h) est la vitesse de franchissement en voie déviée.
	• Si la sortie de l'appareil est alignée : La longueur minimale d'alignement à respecter doit être égale à $V_d/2$. • Si la sortie est en courbe, il faut que : - $V_d < 100$: il faudra prévoir soit un alignement d'une longueur minimale égale à $V_d/2$, soit prolonger la courbe de l'appareil suivi d'un raccordement progressif.

En talon de la branche déviée :	$-100 \leq V_d < 160$: il est recommandé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens pour toute nouvelle situation. $-V_d \geq 160$: la condition précédente est obligatoire. Quelle que soit la valeur de V_d, la longueur des raccordements doit être calculée de manière à obtenir une variation maximale de l'insuffisance de dévers de $\Delta I/\Delta t$ de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).
En talon de la voie directe :	La longueur minimale d'alignement L2 doit être supérieure à 50 m.

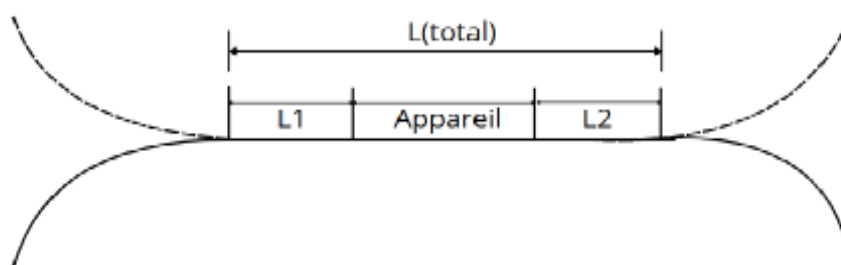


Figure X-7 : Schéma illustratif.

X.6 Gare Boughezoul :

X.6.1 Description de la gare :

La gare de Boughezoul est située entre le PK 41+892 et le PK 43+892. Elle comprend un bâtiment voyageurs implanté au PK 42+892, ainsi que deux quais voyageurs.

L'infrastructure de la gare de Boughezoul est constituée de deux voies principales permettant à la fois le franchissement direct des trains sans arrêt, et la suite de deux voies de quai dédiées à l'accès des voyageurs pour l'embarquement et le débarquement.

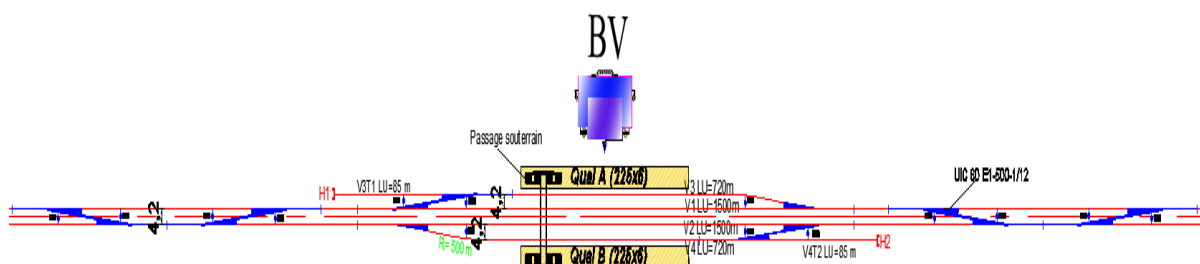
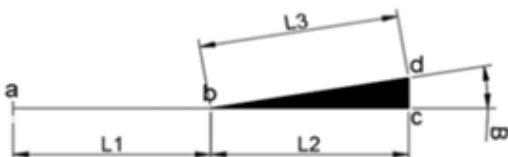


Figure X-8 : Schéma de la gare Boughezoul.

X.6.2 Les caractéristiques de la gare Boughezoul :

Tableau X-5 : Caractéristiques de la gare de boughezoul.

Gare						
PK		Longueur			Nombre de voie	
41+892 au 43+892		2000 m			4 voies	
Longueurs utiles						
Voies	V1	V2	V3	V4	V3T1	V4T2
Lu (m)	1500	1500	720	720	85	85
Caractéristique de Quai A et Quai B						
Quai	PK	Longueur	Largeur		Hauteur	
A	42+717 au 43+067	225 m	6 m		0.55 m	
B	42+717 au 43+067	225 m	6 m		0.55 m	
Appareil de voie						
Type	B^o	GF (m)	L1=L2=L3 (m)	Vitesse max de la voie déviée (Km/h)		
UIC60-E1-500-1/12	4.764	$3.57 \times 12 + 1 = 43.84$	20.797	65		
						
Heurtoir						
Implantation des Heurtoir		PK	X	Y		
H1		42+447	489180.24	3950624.13		
H2		43+337	489913.94	3950955.59		

X.6.3 Passage souterrain :

Les passages souterrains sont composés de cadre en béton armé, ils permettent la traversée des voies en toute sécurité, leurs dimensions doivent permettre le passage du flux de voyageurs sans encombre, Le passage souterrain doit avoir une sortie sur chaque quai de la gare, cette sortie est réalisée à l'aide d'escaliers suffisamment large pour permettre de canaliser le flux des voyageurs (arrivée et départ simultanément) et un monte-charge pouvant être utilisé par les personnes à mobilité réduite,

- Deux voiles et radier et la dalle avec l'épaisseur (50cm, 60cm, 60cm),
- La largeur doit être : $B \geq 2.4$ m, donc on prend : $B = 2.5$ m.
- La hauteur doit être : $H \geq 6.2$ m, donc on prend : $H = 6.5$ m.

X.6.4 Assainissement de la gare :

X.6.4.1 Assainissement transversale :

Pour assurer un drainage performant des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent être conçus avec une pente longitudinale en toit de 2 % combinée à une inclinaison transversale de 4% sur les plates-formes, favorisant ainsi un écoulement gravitaire efficace vers les dispositifs de collecte.

X.6.4.2 Assainissement longitudinale :

Le drainage est assuré par un réseau de drains longitudinaux implantés avec une pente constante de 4%, qui captent les eaux de ruissellement infiltrées dans le ballast et la plateforme. Ces eaux sont ensuite évacuées vers le système d'assainissement via des regards de visite stratégiquement positionnés. Le dispositif comprend également des fossés, drains secondaires et collecteurs, conçus pour canaliser et conduire les eaux pluviales vers les ouvrages hydrauliques puis vers l'exutoire.

X.6.4.3 Drainage des eaux de la plateforme :

Dans le cadre de l'assainissement de la plateforme, un dispositif de drainage a été mis en place à l'aide de conduites en PVC perforé, de diamètre 300 mm, destinées à assurer l'évacuation des eaux pluviales situées entre les voies ferrées. Ces tuyaux sont perforés sur leur partie supérieure afin de faciliter l'infiltration des eaux. Le système comprend également des regards de visite installés tous les 50 mètres le long de la tranchée drainante, permettant un accès aisé pour les opérations d'inspection et de maintenance. L'ensemble des eaux collectées est ensuite dirigé vers un exutoire naturel à travers des collecteurs en béton armé.

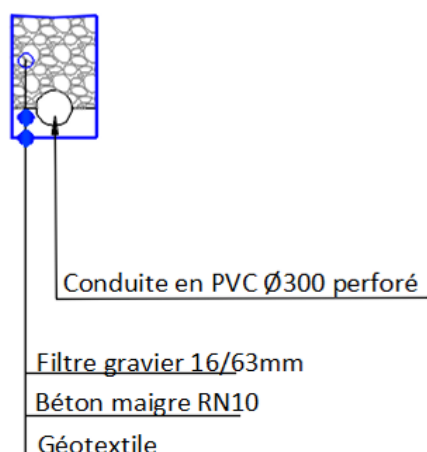


Figure X-9 : Ouvrage de drainage de la plateforme.

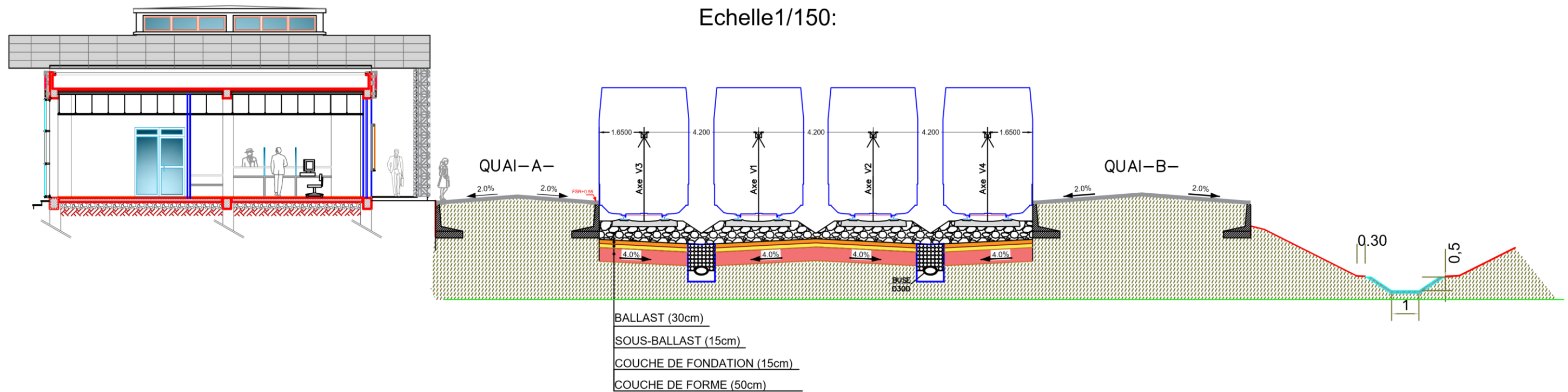
X.7 Conclusion :

La gare constitue un nœud logistique essentiel, assurant le déplacement des usagers et le transport de fret dans des conditions optimisées. Sa conception moderne, soutenue par une gestion rigoureuse, garantit un fonctionnement régulier et performant. Les projets d'extension et de requalification en cours visent à accroître sa capacité d'accueil et à rehausser le niveau de service. Elle s'impose ainsi comme un vecteur structurant du développement territorial, tant sur le plan économique que social.

Echelle1/1750:



Echelle 1/150:



CHAPITRE XI

SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE XI. SIGNALISATION FERROVIAIRE :

XI.1 Introduction :

À mesure que son réseau ferroviaire se développe, l'Algérie attache une importance croissante à la signalisation ferroviaire pour améliorer la sécurité et l'efficacité des transports. En Algérie, la signalisation ferroviaire est vitale pour gérer le trafic prévenir les accidents et coordonner l'exploitation des lignes ferroviaires.

Dans cette section, nous présenterons les concepts de base de la signalisation ferroviaire en examinant les différents types de signaux utilisés et les mécanismes de contrôle associés où la sécurité et la fluidité sont d'une importance primordiale.

XI.2 Le rôle des installations de signalisation :

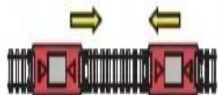
Les installations de signalisation ferroviaire sont importantes et fonctionnent pour garantir la sécurité des opérations dans le transport ferroviaire ainsi que pour assurer un flux optimal. Ces installations permettent :

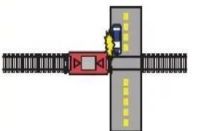
- Maîtriser le volume du trafic ferroviaire pour éviter les litiges et assurer une fluidité optimale.
- Informer les conducteurs des dangers de la conduite sur voie ferrée et des moyens de réduire les risques d'accidents et de déraillements.
- Réguler la circulation dans les deux sens sur une seule voie.
- Indiquer la sécurité de toutes les personnes impliquées y compris les passagers, le personnel et les marchandises.
- Contribuer à améliorer la communication entre les trains et le centre de contrôle.

XI.3 Les risques ferroviaires :

Assurer la sécurité des trajets en train que ce soit pour les marchandises ou les passagers est une priorité absolue. Les signaux sur les voies sont vitaux pour guider les techniciens et réduire les risques d'accidents. Dans le tableau ci-dessous, nous examinerons les principaux risques liés au transports ferroviaires.

Tableau XI-1 : Analyse des risques ferroviaires.

Risque	Configuration	Cas réel	Cause	Conséquence
Nez à nez			Itinéraires non gérés en sécurité (sur voie Unique ou double voies banalisées)	Collision

Rattrapage			Espacement non géré (sur voie unique ou doubles voies)	
Conflit d'itinéraire			Itinéraires sécants non gérés en sécurité	Collision
Déraillement			Vitesse excessive ou défaillance du matériel	Accident
Choc extérieur			Protection non assurée avec l'environnement extérieur	

XI.4 Fonction des signaux :

Les signaux ferroviaires sont essentiellement déployés pour remplir trois fonctions primordiales :

- La signalisation d'arrêt qui informe les conducteurs de trains des emplacements nécessitant un arrêt complet.
- La signalisation de limitation de vitesse qui indique les tronçons de voie où les vitesses doivent être réduites pour des raisons de sécurité.
- La signalisation de direction qui guide les conducteurs sur la voie à suivre.

Chaque fonction est typiquement associée à deux types de signaux : ceux qui préviennent de l'action à venir, et ceux qui la mettent en œuvre ou la rappellent. Il est également à noter que l'expression "signalisation d'arrêt" est spécifiquement réservée à l'action de stopper le train.

XI.5 Implantation longitudinale :

Pour garantir que les mécaniciens réagissent correctement aux signaux d'arrêt ou aux limitations de vitesse dans des zones spécifiques, il est crucial de les avertir à l'avance. Cela se fait grâce à l'utilisation de signaux d'avertissement à distance, positionnés de manière stratégique en fonction de plusieurs facteurs :

- **La distance d'arrêt** : influencée par le profil moyen de la voie, notamment sa pente, pour garantir un freinage efficace.
- **La distance de ralentissement** : déterminée par la vitesse maximale à laquelle le signal est approché et les capacités de freinage des trains.

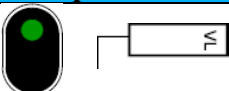
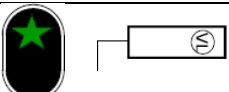
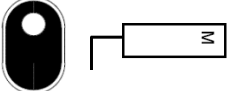
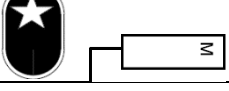
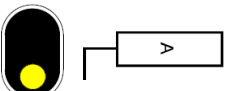
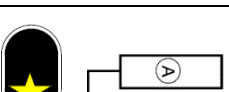
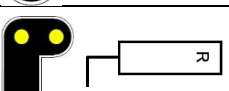
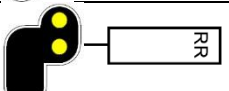
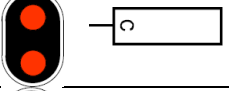
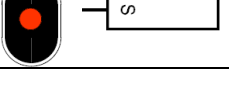
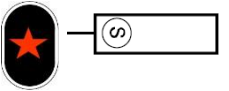
CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

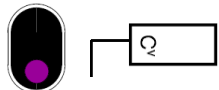
Ces signaux sont conçus pour communiquer de manière claire et précoce avec les conducteurs, leur permettant de réagir de manière appropriée aux indications ferroviaires.

XI.6 Les signaux ferroviaires :

Le tableau suivant présente la signalisation utilisée pour le contournement Ksar El Boukari – Boughezoul :

Tableau XI-2 : La signalisation du projet

Nom du signal	Représentation	Signification
Feu vert		Le feu vert indique au mécanicien que la marche normale est autorisée si rien ne s'y oppose.
Feu vert clignotant		Il commande au mécanicien d'un train à vitesse plus de 160 km/h de réduire sa vitesse.
Feu blanc		Il commande ou confirme au mécanicien l'observation de ta marche en manœuvre
Feu blanc clignotant		Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.
Avertissement / feu jaune		L'avertissement fermé commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêts : carré ou sémaphore annoncés ou d'observer un feu rouge clignotant.
Feu jaune clignotant		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant.
Ralentissement 30		Le ralentissement 30 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 30		
Ralentissement 60		Le ralentissement 60 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 60		
Carré (2)		Le carré fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
Sémaphore		Le sémaphore fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
Feu rouge clignotant		Lorsqu'un mécanicien rencontre un panneau présentant un feu rouge clignotant, il peut sans marquer l'arrêt, s'avancer en marche à vue. Mais il ne doit pas dépasser au franchissement de le signal la vitesse de 15 km/h.

Carré violet		Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
---------------------	---	---

XI.7 Principe de base de cantonnement :

Le canton est un tronçon ferroviaire qui constitue le socle du système de l'espacement des trains, qui permet d'éviter les rattrapages. La ligne de chemin de fer est divisée en différents cantons. Chaque canton dispose d'un signallement. Le cantonnement est le mécanisme d'écartement des trains qui circulent dans le même sens sur une même voie.

Normalement, il n'y a qu'un seul train dans un canton donné. Lorsqu'un train traverse un canton, les composants environnementaux du train forment un court-circuit entre les deux voies du rail. En conséquence, le signal est fermé à l'entrée du canton et un feu rouge apparaît. Lorsque le train pénètre dans le Canton suivant, le signal de apparaît à son passage.

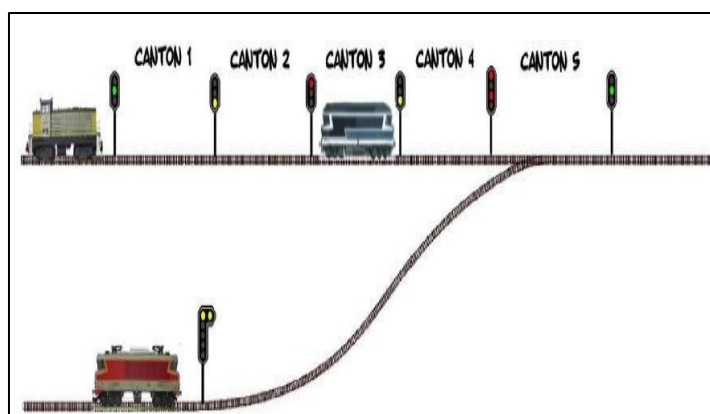


Figure XI-1 : Le système de cantonnement.

XI.8 Les types de blocs :

Il s'agit des systèmes employés afin de gérer les signaux.

- **Block Manuel (B.M)** : Employé sur les lignes peu fréquentées, ce système nécessite que l'agent ouvre manuellement le signal de bloc afin d'autoriser l'accès à la voie.
- **Block automatique à permissivité limitée (B.A.P.R)** : Ce système d'espacement est utilisé sur les lignes moyennement fréquentées et prend en charge l'entrée des trains dans la voie suivante par des signaux automatiques.
- **Bloc automatique lumineux (B.A.L)** : est un système d'espacement principal qui utilise des signaux automatiques pour gérer les trains en fonction de leur position et des conditions de circulation. Il est principalement employé sur les lignes très fréquentées.
- **Le système de cantonnement (systèmes d'espacement des trains)** : permet d'éviter les doublons en divisant la ligne en cantons protégés par des signaux d'arrêt.

XI.9 Le système de signalisation moderne ERTMS :

L'ERTMS (European Railways Traffic Management System) est un système de gestion du trafic ferroviaire européen visant à améliorer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire. Il se compose de trois niveaux.

La coordination entre les opérateurs ferroviaires est renforcée par l'harmonisation des systèmes de signalisation et de contrôle de trains. L'ERTMS fait appel à des technologies de communication sans fil afin de surveiller les trains, améliorer les trajets et diminuer les risques de collisions.

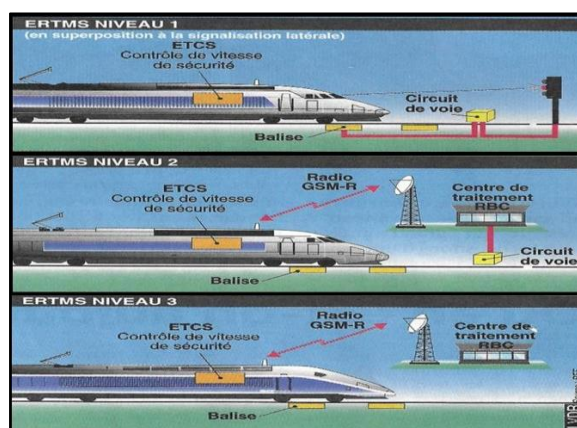


Figure XI-2 : Le système ERTMS

XI.10 Application sur notre projet :

La ligne ferroviaire Ksar El Boukhari–Boughzoul, conçue pour assurer le transport des voyageurs et des marchandises dans des conditions d'exploitation sûres et efficaces, repose sur un système de signalisation moderne et fiable garantissant la sécurité et l'optimisation des circulations ferroviaires. Ce système combine :

Le BAL (Bloc Automatique Lumineux), qui permet la gestion des circulations par cantons fixes à l'aide de signaux lumineux latéraux, assurant ainsi une exploitation fluide et sécurisée des trains.

Le système ERTMS, permettant la transmission des informations de signalisation directement en cabine grâce aux balises Eurobalises, renforçant ainsi la supervision continue et le niveau de sécurité.

La gestion des circulations repose sur une commande centralisée par tronçon, avec possibilité de reprise locale notamment au niveau des gares et des zones d'enclenchement. Les gares des voyageurs sont supervisées depuis des postes centraux, tandis que les installations dédiées au fret peuvent être commandées localement sous contrôle centralisé.

Concernant les systèmes d'enclenchement, deux solutions peuvent être adoptées : des enclenchements informatisés de type PAI ; ou des enclenchements classiques à relais de type PRG avec commande numérique, garantissant à la fois flexibilité et fiabilité d'exploitation.

Le système utilise des compteurs d'essieux pour assurer une détection précise des trains sur les différents cantons. Les communications entre les équipements reposent sur un réseau moderne combinant fibres optiques et liaisons radio Sol-Train, assurant rapidité et continuité des échanges d'informations.

Enfin, la maintenance des équipements est organisée de manière centralisée avec des équipes d'intervention réparties au niveau des gares afin d'assurer une prise en charge rapide des pannes.

XI.11 Conclusion :

Ce chapitre nous a appris que la signalisation ferroviaire est cruciale pour garantir la sécurité des utilisateurs du rail. Elle favorise la circulation fluide et régulée, améliore le confort des voyageurs et diminue les dangers qui peuvent influencer la sécurité et la performance du transport ferroviaire.

Il est primordial de mettre à jour le système de signalisation ferroviaire existant et de s'adapter à la technologie, ce qui permettra d'améliorer le rendement du transport ferroviaire et de le rendre plus efficace, nous permettant ainsi d'exploiter notre réseau ferroviaire de manière efficace.

CHAPITRE XII

ETUDE D'IMPACT SUR

L'ENVIRONNEMENT

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

XII.1 Introduction :

Le projet ferroviaire du contournement ksar el boukhari – boughezoul représente une avancée significative pour le développement des infrastructures de transport de la région. En reliant ksar el boukhari à boughezoul, ce projet vise à améliorer la mobilité, le commerce et le développement économique local. Cependant, il est impératif de considérer les impacts environnementaux potentiels associés à ce type de projet.

L'étude d'impact environnemental et social est un outil de mesure de la faisabilité du projet. Elle consiste à fournir une analyse détaillée des effets du projet sur l'écosystème local et de proposer des mesures d'atténuation pour minimiser ces impacts, tout en garantissant que les pratiques de construction et d'exploitation respectent les normes environnementales en vigueur.

XII.2 Cadre Législatif et Réglementaire :

Pour garantir une approche responsable et durable, le projet doit se conformer aux nombreuses lois et règlements en vigueur en Algérie en matière de protection de l'environnement. L'Algérie accorde une importance particulière à la préservation de l'environnement et à la promotion du développement durable. Voici une sélection de quelques principales dispositions légales à prendre en compte :

Tableau XII-1 : Quelques références légales et réglementaires.

Domaine	Références légales et réglementaires
Protection de l'environnement et développement durable	- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. - Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
Étude d'impact sur l'environnement	- Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement. - Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application. Le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement.
Faune et flore	- Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. - Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
Patrimoine culturel et sites archéologiques	- Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

L'Algérie met un point d'honneur à préserver l'environnement dans tous ses projets de développement. Ces lois et règlements reflètent l'engagement du pays à protéger ses ressources naturelles et à assurer un développement harmonieux et durable.

XII.3 Objectifs de l'étude d'impact environnemental :

L'étude d'impact environnemental vise à intégrer, dès les phases initiales de conception, les enjeux liés à la préservation des milieux naturels et humains dans le développement de la nouvelle infrastructure ferroviaire. Ses principaux objectifs sont les suivants :

- Assurer l'intégration du projet dans son contexte écologique et territorial, en tenant compte des contraintes physiques, biologiques et paysagères du site.
- Analyser les effets directs, indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement naturel (sols, ressources en eau, biodiversité), ainsi que sur le climat acoustique et visuel.
- Détecter les risques environnementaux potentiels susceptibles de nuire à la stabilité des écosystèmes.
- Élaborer un plan de gestion environnementale, comprenant des mesures préventives, correctives et compensatoires visant à réduire l'empreinte écologique du projet.
- Garantir la conformité du projet aux cadres réglementaires nationaux et internationaux en matière de protection de l'environnement.

XII.4 Analyse de l'état initial de la zone du projet :

XII.4.1 Situation géographique et administrative de la wilaya de Médéa :

- Située au nord de l'Algérie, dans la région de l'Atlas tellien, à environ 88 km au sud d'Alger
- Superficie : 8775 km².
- Limites :
 - **Nord** : Blida ;
 - **Nord-Ouest** : Ain defla et Tissemsilt ;
 - **Est** : M'sila et Bouira ;
 - **Sud** : Djelfa.

Tableau XII-2 : Situation administrative de la wilaya de Médéa.

Aspect	Détails
Population	900 000 habitants
Densité	90 habitants/km ²
Communes	64
Daïras	19

XII.5 Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude (Boughezoul) :

Ressource	Type	Description
	Relief	-Relief dominé par des plaines et plateaux des Hauts Plateaux algériens. - Topographie globalement faiblement ondulée.

CHAPITRE XII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Physique	Climat	- Climat semi-aride continental. - Étés chauds et secs, hivers froids avec précipitations faibles et irrégulières.
	Géologie / Hydrogéologie	- Formations tertiaires et quaternaires. - Zone à faible sismicité (Zone II). - Présence de nappes souterraines exploitées localement.
	Réseau hydrographique	- Réseau constitué principalement d'oueds temporaires. - Ressources en eau limitées. - Présence du barrage de Boughezoul, ressource hydraulique stratégique pour l'irrigation, l'alimentation en eau et le développement régional.
Biologique	Flore	- Végétation steppique dominée par l'alfa (<i>Stipa tenacissima</i>), l'armoïse (<i>Artemisia herba-alba</i>) et le sparte. - Couverture végétale faible à moyenne en raison du climat semi-aride.
	Faune	La région de Ksar El Boukhari – Boughezoul présente une diversité faunistique liée aux zones steppiques et semi-arides, favorisant la présence de plusieurs espèces adaptées au climat local. On y rencontre notamment des petits mammifères, des reptiles ainsi que diverses espèces d'oiseaux, dont certaines migratrices. Cette richesse faunistique constitue un patrimoine naturel important, nécessitant des mesures de protection et de préservation dans le cadre des projets de développement de la région.
Humaine	Activités économiques	- Activités dominantes : agriculture céréalière (blé, orge) et élevage (ovin). - Développement récent lié à la ville nouvelle de Boughezoul.
	Les infrastructures de base existantes	- Réseau routier reliant Médéa, Djelfa et les Hauts Plateaux. - Projets structurants : ville nouvelle de Boughezoul, réseaux divers et équipements publics. - plusieurs lignes ferroviaires se croisent à la gare de boughezoul.
	L'industrie	La ligne ferroviaire Ksar El Boukhari – Boughezoul contribue au développement industriel et économique de la région en facilitant le transport des marchandises et des matières premières, tout en renforçant les activités logistiques et commerciales.
	Tourisme	La région de Ksar El Boukhari – Boughezoul constitue un espace à potentiel touristique important grâce à la diversité de ses paysages naturels et à sa proximité avec la nouvelle ville de Boughezoul. La multiplicité des potentialités de cette région ouvre de grandes opportunités à l'investissement et à la réalisation de projets touristiques et de loisirs prometteurs.

XII.6 L'impact du projet :

XII.6.1 Les impacts positifs :

La réalisation de ce contournement ferroviaire ouvre la voie à un essor multiforme pour la région, avec des perspectives prometteuses de renforcement sur plusieurs plans. Il y a des impacts directs et indirects. Il s'agit notamment de :

Tableau XII-3 : Les impacts positifs directs et indirects du projet.

Direct	Indirect
-Amélioration du transport ferroviaire grâce à une ligne moderne à double voie. -Facilitation du transport des matières minières et des marchandises lourdes. - Création d'emplois nouveaux durant les phases de construction et d'exploitation. -Réduction significative de la durée de transport des marchandises et des voyageurs. - Reliance Nord-Sud via un réseau ferroviaire national intégré.	- Réduction du trafic routier, soulageant ainsi la congestion sur les routes nationales. - Diminution du taux d'accidents de la route grâce au transfert d'une partie importante du transport vers le rail. - Stimulation du développement économique local dans la wilaya de Médéa et les régions voisines (Boughezoul, Ksar El Boukhari). - Renforcement des échanges commerciaux entre les zones de production (Sud) et les centres de consommation/exportation (Nord). - Soutien à Boughezoul comme nouveau pôle urbain et économique dans les Hauts Plateaux. - Réalisation d'un développement socio-économique global pour les villes et villages situés le long du tracé.

XII.6.2 Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées :

Les impacts négatifs sont les effets défavorables ou préjudiciables résultant d'une action ou d'un projet, qui peuvent affecter l'environnement, la santé, la sécurité, l'économie et le bien être des communautés. Le tableau ci-dessous présente une synthèse des impacts négatifs anticipés, leur évaluation en termes d'importance, ainsi que les mesures d'atténuation recommandées.

Catégorie d'impact	Impacts négatifs	Solutions d'atténuation proposées
Sols	-La pollution causée par les eaux de lavage, les déversements accidentels de polluants et les incidents de chantier. -Une réduction des terres agricoles et une dégradation de la qualité des sols. -Le passage fréquent de trains et de véhicules compacte le sol, réduisant sa perméabilité et son absorption d'eau	-Gérer efficacement les déchets, les rejets liquides et les eaux usées. -Adopter des méthodes de stabilisation du sol afin de réduire l'érosion.
L'air	- Les émissions polluantes des moteurs thermiques et la dispersion des poussières peuvent affecter la santé publique, la sécurité et les paysages. - La pollution sonore des trains et des travaux perturbe les habitants et la faune. - Les opérations de minage et l'utilisation d'explosifs lors des travaux de déblai génèrent des poussières, des fumées et des vibrations.	-Contrôler la poussière en arrosant les zones de travail et en installant des barrières pour limiter sa dispersion. -Couvrez les camions transportant des matériaux poussiéreux. -Évitez l'utilisation de produits chimiques dangereux à proximité des zones sensibles.
Eau (superficielle / souterraine)	-Les travaux de construction peuvent contaminer les eaux de surface par le ruissellement de sédiments, produits chimiques, huiles et carburant. -Les activités de construction peuvent causer l'érosion et la sédimentation, nuisant à la faune et à la flore aquatiques et altérant la qualité de l'eau. -Les travaux de construction peuvent modifier les niveaux des nappes phréatiques, affectant ainsi les puits et les sources locales.	-Protéger les habitats naturels et les espèces locales sur le site de construction avec des mesures de conservation adaptées. -Organiser le chantier et choisir des matériaux réduisant la consommation d'énergie sont essentiels pour limiter la production de gaz à effet de serre.
Flore	- Le dédoublement de la voie va engendrer une perte de ces espèces par suite des décapages du terrain naturel pour la construction de la plateforme.	-Limiter au maximum la création des pistes par les engins de chantier dans les zones cultivées. -Rétablir l'état des lieux par la re-végétalisation de l'Alpha des sites

	- La pollution de l'air et de l'eau peut avoir un impact sur les végétaux se trouvant aux abords du chantier.	dégradés par les installations de chantier et pistes ainsi que les zones touchées par les déboisements et le décapage du couvert végétal, en utilisant les espèces végétales présentes sur site.
Faune	-La destruction des forêts, des prairies, des zones humides et d'autres habitats cruciaux pour de nombreuses espèces animales. -Le bruit des trains perturbe les comportements naturels des animaux, affectant communication, reproduction et alimentation.	-Planifier les tracés ferroviaires pour éviter les zones écologiquement sensibles -Informer les communautés et les voyageurs sur l'importance de la conservation de la faune et les mesures de protection. -Réduire la vitesse des trains dans les habitats critiques pour minimiser les collisions avec la faune
Milieux humain	- La construction de lignes ferroviaires peut entraîner l'expropriation de terres et la relocalisation des résidents, causant des perturbations sociales et économiques. -Le bruit des trains près des habitations peut perturber le sommeil, la concentration et le bien-être des résidents, affectant leur qualité de vie. -L'augmentation des risques d'accidents pour les travailleurs et les résidents locaux	-Créer des passages sécurisés pour les piétons et les véhicules afin de garantir la sécurité des résidents près des voies ferrées. -Installer des barrières acoustiques le long des voies ferrées pour atténuer le bruit pour les zones résidentielles. -Interdire l'accès au chantier à toute personne non autorisée.
Milieux agricoles	-La construction de voies ferrées réduit les terres disponibles pour la culture. -La présence de voies ferrées entrave le déplacement des machines agricoles et la gestion des ressources.	-Contourner les zones agricoles de haute valeur pour minimiser la perte de terres cultivables. -Créer des comités de liaison pour assurer la communication continue et la résolution rapide des problèmes entre les entreprises ferroviaires et les communautés agricoles. -Stocker les produits polluants sur des aires étanches, loin des terrains cultivés.

XII.7 Influence de l'environnement sur la réalisation du projet :

Dans les projets ferroviaires, les risques environnementaux peuvent sérieusement entraver l'avancement du projet. Parmi ces risques, les épisodes pluvieux intenses compromettent l'assainissement des terrassements et augmentent le risque d'inondations par débordement des cours d'eau adjacents, surtout dans les zones déjà identifiées comme inondables. De plus, la pollution de l'eau et de l'air peut également retarder les travaux, nécessitant ainsi des ajustements dans la planification

➤ **Commentaire :**

Intégrer l'aspect environnemental dès l'étude préliminaire a permis d'anticiper les contraintes écologiques et d'évaluer plus précisément la faisabilité du projet. Cependant, nous aimerions souligner l'importance d'un suivi rigoureux pour nous assurer que ces mesures sont mises en œuvre efficacement, ainsi que de prêter attention aux impacts cumulatifs à long terme, notamment en lien avec le changement climatique et l'urbanisation.

XII.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'analyse des impacts environnementaux du contournement ferroviaire, mettant en lumière plusieurs aspects cruciaux. L'intégration proactive des considérations environnementales dès les phases initiales de planification a facilité l'identification et l'anticipation des contraintes écologiques, contribuant ainsi à une évaluation plus précise de la faisabilité du projet.

Finalement la réussite de ce projet dépend d'un engagement constant envers la durabilité environnementale et d'une adaptation proactive des stratégies d'atténuation aux évolutions futures.

CHAPITRE XIII

DEVIS ESTIMATIF ET

QUANTITATIF

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XIII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :

Tableau XIII-1 : Devis quantitatif et estimatif.

N ⁰	Désignations	U	Quantité	Prix Unitaire	Montont HT
1- ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1	285 948 719.00	285 948 719.00
1-2	Repli du matériel	F	1	129 712 273.00	129 712 273.00
1-3	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F	1	50 584 723.00	50 584 723.00
1-4	Repliement de laboratoire de chantier	F	1	30 935 361.00	30 935 361.00
				PRIX TOTAL :	497 181 076.00
2- TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0.2 m	M3	56 384	527.00	29 714 368.00
2-2	Déblais mise en dépôt	M3	82 492	570.00	47 420 440.00
2-3	Remblais d'apport	M3	982 288	1 300.00	1 276 974 400.00
2-4	Fourniture et mise en œuvre de Couche de fondation	M3	29 302	2 700.00	79 115 400.00
2-5	Fourniture et mise en œuvre de Couche de forme	M3	80 571	1 820.00	146 639 220.00
2-6	Fourniture et mise en œuvre de sous ballast	M3	27 990	3 375.00	94 466 126.00
2-7	Fourniture et mise en œuvre de géotextile	M2	120 000	1 650.00	198 000 000.00
2-8	Matériaux de substitution zone inondable	M3	280 567	4 800.00	1 346 721 600.00
				PRIX TOTAL :	3 218 651 616.00
3- DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
3-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	22 542	9 000.00	202 878 000.00
3-2	Dalot en béton armé (3×2)	M3	384	100 000.00	38 400 000.00
3-3	Buses en béton arme diamètre (1500)	ML	280	139 647.00	39 101 160.00
				PRIX TOTAL :	280 379 160.00
4- TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE					
4-1	Ballastage voie	M3	55 584	8 679.83	569 257 971.00
4-2	Fourniture des traverses mono-bloc	U	45 009	12 000.00	540 108 000.00
4-3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	T	3 903	200 000.00	780 600 000.00
4-4	Fourniture des attachés pour le rail UIC60	U	180 036	1 610.00	289 857 960.00
4-5	Fourniture semelle cannelée (200x165x9)	U	180 036	345.00	62 112 420.00
4-6	Pose de voie	ML	31 000	8 050.00	249 550 000.00
4-7	Fourniture et Pose des appareils de voie simples UIC 60 500-1/12	U	14	29 900 000.00	418 600 000.00
4-8	Soudage aluminothermique	U	195	25 818.71	5 034 649.00
4-9	Soudage électrique	U	3112	25 818.71	212 245 931.00
4-10	Traverses de Garage franc	U	14	68 202.42	954 833.88
4-11	Fourniture et pose Heurtoir	U	2	475 000.00	950 000.00
				PRIX TOTAL :	3 129 271 764.00
5- SIGNALISATION					
5-1	Signalisation	U	1	350 000 000.00	350 000 000.00
				PRIX TOTAL :	350 000 000.00
6- OUVRAGES D'ARTS					
6-1	Ouvrages d'arts	U	1	247 520 000.00	247 520 000.00
				PRIX TOTAL :	247 520 000.00
7- BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

7-1	Aménagement et toutes les installations de la gare (bâtiment parking, quai, abris de quai.....).	U	-	-	450 515 600.00
PRIX TOTAL :					450 515 600.00
MONTANT TOTALE DU PROJET EM (HT)				8 173 519 216.00	
Montant de la T.V. A				1 552 968 651.00	
MONTANT TOTAL FINAL EN TTC (DA)				9 726 487 867.00	

Montant total en TTC (en lettres) :

Neuf milliards sept cent vingt-six millions quatre cent quatre-vingt-sept mille huit cent soixante-sept dinars algériens.

CONCLUSION :

CONCLUSION :

Le présent mémoire de fin d'études porte sur l'étude de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Ksar El Boukhari à Boughzoul, un projet stratégique s'inscrivant dans le cadre du développement et de la modernisation du réseau ferroviaire national. Cette infrastructure vise à améliorer la mobilité des voyageurs et des marchandises, à renforcer les échanges entre les différentes régions du pays et à promouvoir un mode de transport durable. Bien que la ligne s'étende sur un linéaire d'environ 42 km, notre étude s'est concentrée sur un tronçon représentatif compris entre le PK 28+500 et le PK 41+892, retenu comme zone d'application pour l'ensemble des études techniques réalisées.

Notre travail s'est articulé autour de plusieurs volets essentiels à la conception de cette infrastructure ferroviaire. Une étude géométrique détaillée a été menée afin de définir un tracé conforme aux exigences techniques et aux normes en vigueur, tout en tenant compte des contraintes topographiques de la région traversée. Des investigations géologiques et géotechniques ont également été réalisées afin de caractériser les terrains rencontrés et d'évaluer leur aptitude à recevoir les ouvrages projetés.

Par ailleurs, des études hydrologiques et hydrauliques ont été effectuées pour analyser le comportement des écoulements superficiels et dimensionner les ouvrages d'assainissement nécessaires à la protection de la plateforme ferroviaire. Une attention particulière a été accordée à la stabilité des remblais et des déblais, ainsi qu'à la sécurité, à la durabilité et à la pérennité des infrastructures projetées.

Pour mener à bien cette étude, plusieurs logiciels spécialisés tels que AutoCAD, Covadis et Geo5 ont été utilisés pour la conception, la modélisation et la vérification des différents éléments du projet. Ces outils ont permis d'obtenir des résultats précis et conformes aux exigences techniques du projet.

L'ensemble des études a été réalisé conformément aux référentiels techniques de la SNTF, aux recommandations de l'UIC ainsi qu'aux règlements nationaux en vigueur, garantissant ainsi la sécurité, la fiabilité et la performance de la future ligne ferroviaire.

En conclusion, le projet de la ligne ferroviaire Ksar El Boukhari – Boughezoul constitue une infrastructure majeure pour le développement économique et territorial de la région. Il contribuera à l'amélioration des conditions de transport, au renforcement des échanges entre les différentes zones et à la promotion d'un système de transport moderne et durable. Ce travail de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine du génie ferroviaire et de développer les compétences techniques nécessaires à l'exercice du métier d'ingénieur des travaux publics.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique Algérien (RPA 2024), Alger, ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville, 2024.
- [2] Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2024, Alger, ministère des Travaux Publics.
- [3] SNTF, Référentiel technique, version 2, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
- [4] SNTF, Référentiel technique, version 2, chapitre 10 : Signalisation et télécommunication.
- [5] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
- [6] Référentiel RFF/SNCF IN 0274, Mise en œuvre du ballast pour voie ferrée, version 2 du 25/05/2010.
- [7] UIC 719, 3ème édition, Ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaires.
- [8] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème édition, 2008.
- [9] Rapport technique de la sous-mission tracé, tronçon compris entre le PK 28+500 et le PK 41+892, COSIDER TP – Projet T127.
- [10] Rapport Hydrologique et Hydraulique APD, tronçon compris entre le PK 28+500 et le PK 41+892, COSIDER TP – Projet T127.
- [11] Rapport Géologique et Géotechnique, tronçon compris entre le PK 28+500 et le PK 41+892, COSIDER TP – Projet T127.
- [12] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, octobre 2006.
- [13] Guide des Terrassements Routiers (GTR).
- [14] Rapport de la lutte contre l'ensablement, SETIRAIL.
- [15] Infrastructures de base de la wilaya de Médéa, ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire.
- [16] Médéa, Wikipédia.
- [17] MORSLI Rabeh, Cours de voie ferrée, École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP).
- [18] RHMANI Douadi, Cours d'hydraulique et d'assainissement, École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP).
- [19] Mémoires de fin d'études en voie ferrée, École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP).

ANNEXES

Annexe A : Listing Axe en plan.

Axe En Plan					
Nom du dessin	tracer pfe lamri 2026.dwg				
Nom de l'axe	pfe - Axe pfe				
Table associée	Aucune...				
Date du listing	04/06/2026 à 11:49:39				
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 201.24gr	539,164	28+500.000	478091,780	3950642,106
Clothoïde 1	Paramètre 616,441	190,000	29+039.164	478081,255	3950103,045
Arc 1	Rayon 2000.000 m	2620,024	29+229.164	478080,555	3949913,065
	Centre X 480079.772 m				
	Centre Y 3949969.015 m				
Clothoïde 2	Paramètre -616,441	190,000	31+849.188	479618,355	3948022,969
Droite 2	Gisement 111.80gr	3127,628	32+039.188	479804,506	3947985,014
Clothoïde 3	Paramètre 616,441	190,000	35+166.816	482878,589	3947408,758
Arc 2	Rayon 2000.000 m	1480,197	35+356.816	483065,848	3947376,715
	Centre X 483340.588 m				
	Centre Y 3949357.755 m				
Clothoïde 4	Paramètre -616,441	190,000	36+837.012	484473,654	3947709,677
Droite 3	Gisement 58.63gr	376,469	37+027.012	484626,720	3947822,210
Clothoïde 5	Paramètre -616,441	190,000	37+403.481	484926,468	3948049,982
Arc 3	Rayon -2000.000 m	480,921	37+593.481	485079,533	3948162,516
	Centre X 486212.600 m				
	Centre Y 3946514.438 m				
Clothoïde 6	Paramètre 616,441	190,000	38+074.403	485504,623	3948384,937
Droite 4	Gisement 79.99gr	402,008	38+264.403	485684,343	3948446,529
Clothoïde 7	Paramètre 637,181	140,000	38+666.410	486066,654	3948570,822
Arc 4	Rayon 2900.000 m	1442,780	38+806.410	486199,438	3948615,176
	Centre X 485236.510 m				
	Centre Y 3951350.641 m				
Clothoïde 8	Paramètre -637,181	140,000	40+249.191	487388,177	3949406,335
Droite 5	Gisement 45.24gr	155,496	40+389.191	487480,354	3949511,703
Clothoïde 9	Paramètre -616,441	190,000	40+544.687	487581,792	3949629,556
Arc 5	Rayon -2000.000 m	650,291	40+734.687	487707,990	3949771,567
	Centre X 489160.170 m				
	Centre Y 3948396.367 m				
Clothoïde 10	Paramètre 616,441	190,000	41+384.978	488223,381	3950163,406
Droite 6	Gisement 71.99gr	317,000	41+574.978	488393,966	3950247,033
			41+891.978	488680,776	3950382,048
Longueur totale de l'axe 13391.978 mètre(s)					

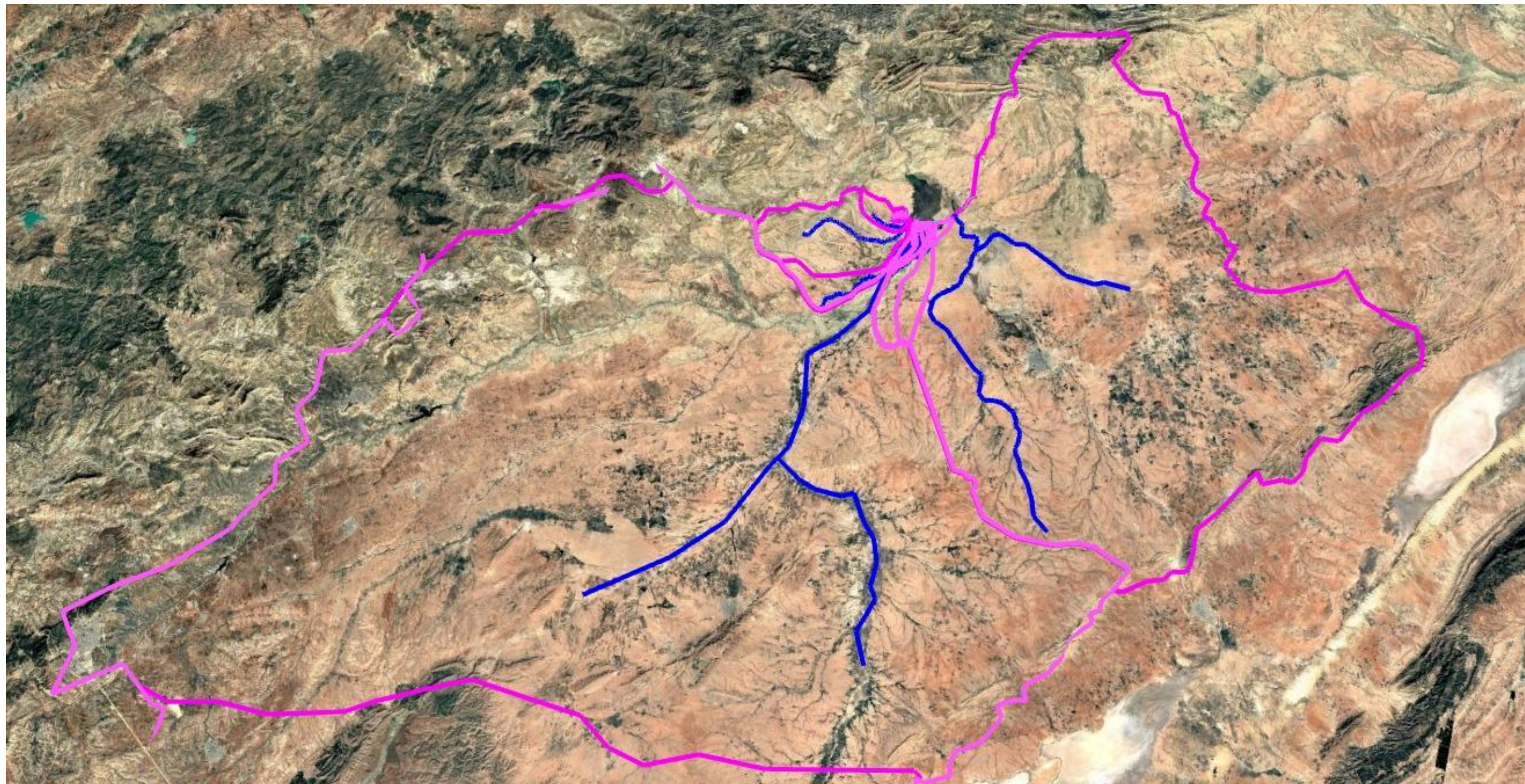
Annexe B : Listing profil en long.

Profil En Long Projet

Nom du dessin : tracer pfe lamri 2026.dwg
 Nom de l'axe : pfe - Axe pfe
 Table associée : Aucune...
 Date du listing : 04/06/2026 à 11:58:28

Els Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -0.06 %	912,988	28+500.000	648,571
Cercle 1	Rayon -40000.000 m	136,309	29+412.988	648,025
	Sommet Absc. 29+389.039 m			
	Sommet Alt. 648.032 m			
Pente 2	Pente -0.40 %	1238,055	29+549.297	647,711
Cercle 2	Rayon 35000.000 m	140,226	30+787.353	642,751
	Sommet Absc. 30+927.579 m			
	Sommet Alt. 642.470 m			
Pente 3	Pente 0.00 %	2509,949	30+927.579	642,470
Cercle 3	Rayon 40000.000 m	124,944	33+437.528	642,470
	Sommet Absc. 33+437.528 m			
	Sommet Alt. 642.470 m			
Pente 4	Pente 0.31 %	1072,644	33+562.472	642,665
Cercle 4	Rayon -18000.000 m	125,108	34+635.116	646,015
	Sommet Absc. 34+691.341 m			
	Sommet Alt. 646.103 m			
Pente 5	Pente -0.38 %	938,029	34+760.224	645,971
Cercle 5	Rayon 35000.000 m	133,940	35+698.253	642,382
	Sommet Absc. 35+832.192 m			
	Sommet Alt. 642.125 m			
Pente 6	Pente 0.00 %	3255,561	35+832.192	642,125
Cercle 6	Rayon 18000.000 m	134,240	39+087.754	642,125
	Sommet Absc. 39+087.754 m			
	Sommet Alt. 642.125 m			
Pente 7	Pente 0.75 %	2477,618	39+221.994	642,626
Cercle 7	Rayon -18000.000 m	134,240	41+699.612	661,104
	Sommet Absc. 41+833.852 m			
	Sommet Alt. 661.605 m			
Pente 8	Pente 0.00 %	58,127	41+833.852	661,605
			41+891.978	661,605
Longueur totale de l'axe 13391.978 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 13392.074 mètre(s)				

Annexe C-1 : Délimitation des bassins versants du projet d'étude.



Annexe C-2 : Canalisation circulaire partiellement remplie.

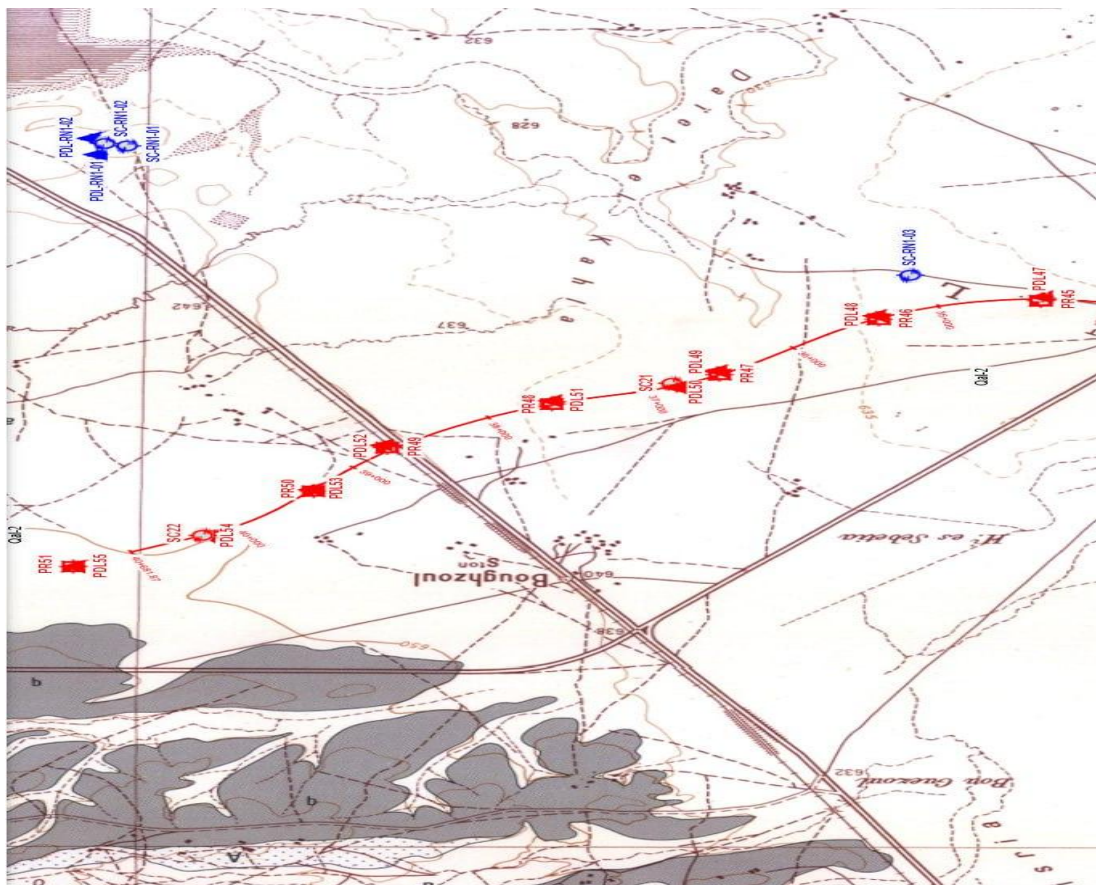
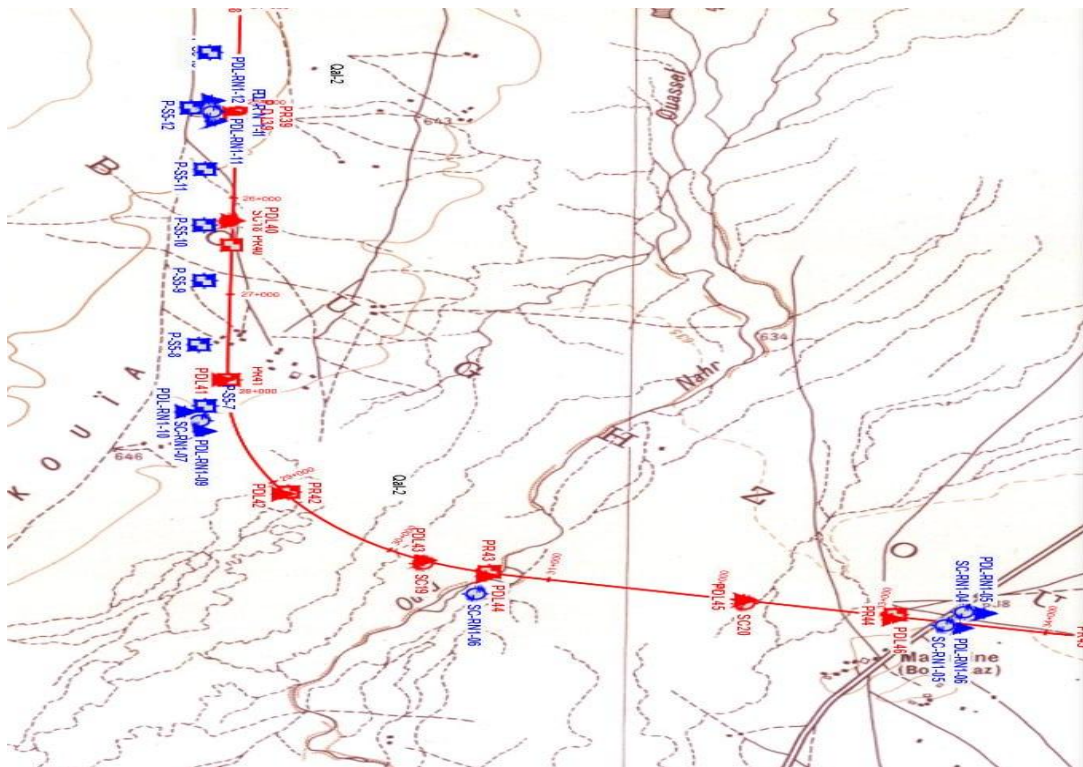
Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,0021	0,189	0,033	0,0600	0,548	0,166	0,1179	0,670	0,232	0,1758	0,750	0,283	0,2337	0,814	0,329	0,2916	0,866	0,370
0,0031	0,219	0,040	0,0611	0,551	0,167	0,1190	0,672	0,233	0,1769	0,752	0,284	0,2348	0,815	0,329	0,2927	0,867	0,371
0,0042	0,249	0,048	0,0621	0,554	0,169	0,1200	0,674	0,234	0,1779	0,753	0,285	0,2359	0,816	0,330	0,2938	0,867	0,371
0,0053	0,266	0,053	0,0632	0,557	0,170	0,1211	0,676	0,235	0,1790	0,755	0,286	0,2369	0,817	0,331	0,2948	0,868	0,372
0,0064	0,278	0,057	0,0643	0,560	0,172	0,1222	0,677	0,236	0,1801	0,756	0,287	0,2380	0,818	0,332	0,2959	0,869	0,373
0,0074	0,290	0,061	0,0653	0,563	0,173	0,1233	0,679	0,237	0,1812	0,757	0,288	0,2391	0,819	0,333	0,2970	0,870	0,373
0,0085	0,302	0,065	0,0664	0,566	0,175	0,1243	0,681	0,238	0,1822	0,759	0,289	0,2401	0,820	0,333	0,2981	0,871	0,374
0,0096	0,315	0,069	0,0675	0,569	0,176	0,1254	0,682	0,239	0,1833	0,760	0,290	0,2412	0,821	0,334	0,2991	0,872	0,375
0,0107	0,327	0,073	0,0686	0,571	0,177	0,1265	0,684	0,240	0,1844	0,762	0,290	0,2423	0,822	0,335	0,3002	0,873	0,376
0,0117	0,337	0,076	0,0696	0,574	0,179	0,1275	0,686	0,241	0,1855	0,763	0,291	0,2434	0,823	0,336	0,3013	0,874	0,376
0,0128	0,344	0,079	0,0707	0,576	0,180	0,1286	0,687	0,242	0,1865	0,764	0,292	0,2444	0,824	0,337	0,3023	0,874	0,377
0,0139	0,352	0,082	0,0718	0,579	0,181	0,1297	0,689	0,243	0,1876	0,766	0,293	0,2455	0,825	0,337	0,3034	0,875	0,378
0,0149	0,360	0,085	0,0729	0,582	0,183	0,1308	0,691	0,244	0,1887	0,767	0,294	0,2466	0,826	0,338	0,3045	0,876	0,378
0,0160	0,367	0,088	0,0739	0,584	0,184	0,1318	0,692	0,245	0,1897	0,768	0,295	0,2477	0,828	0,339	0,3056	0,877	0,379
0,0171	0,375	0,090	0,0750	0,587	0,185	0,1329	0,694	0,246	0,1908	0,770	0,296	0,2487	0,829	0,340	0,3066	0,878	0,380
0,0182	0,382	0,093	0,0761	0,589	0,187	0,1340	0,696	0,247	0,1919	0,771	0,297	0,2498	0,830	0,341	0,3077	0,879	0,381
0,0192	0,390	0,096	0,0771	0,592	0,188	0,1351	0,698	0,248	0,1930	0,773	0,298	0,2509	0,831	0,341	0,3088	0,880	0,381
0,0203	0,397	0,099	0,0782	0,594	0,189	0,1361	0,699	0,250	0,1940	0,774	0,299	0,2519	0,832	0,342	0,3099	0,881	0,382
0,0214	0,404	0,101	0,0793	0,597	0,190	0,1372	0,701	0,251	0,1951	0,775	0,300	0,2530	0,833	0,343	0,3109	0,881	0,383
0,0224	0,409	0,103	0,0804	0,599	0,192	0,1383	0,702	0,251	0,1962	0,777	0,300	0,2541	0,834	0,344	0,3120	0,882	0,384
0,0235	0,415	0,105	0,0814	0,602	0,193	0,1393	0,704	0,252	0,1972	0,778	0,301	0,2552	0,835	0,345	0,3131	0,883	0,384
0,0246	0,420	0,108	0,0825	0,604	0,194	0,1404	0,705	0,253	0,1983	0,779	0,302	0,2562	0,836	0,345	0,3141	0,884	0,385
0,0257	0,425	0,110	0,0836	0,607	0,196	0,1415	0,706	0,254	0,1994	0,780	0,303	0,2573	0,837	0,346	0,3152	0,885	0,386
0,0267	0,431	0,112	0,0846	0,609	0,197	0,1426	0,708	0,255	0,2005	0,781	0,304	0,2584	0,838	0,347	0,3163	0,886	0,386
0,0278	0,436	0,114	0,0857	0,612	0,198	0,1436	0,709	0,256	0,2015	0,782	0,304	0,2594	0,839	0,348	0,3174	0,887	0,387
0,0289	0,441	0,116	0,0868	0,615	0,200	0,1447	0,710	0,257	0,2026	0,783	0,305	0,2605	0,840	0,349	0,3184	0,887	0,388
0,0300	0,447	0,118	0,0879	0,617	0,201	0,1458	0,712	0,258	0,2037	0,784	0,306	0,2616	0,841	0,349	0,3195	0,888	0,389
0,0310	0,452	0,120	0,0889	0,619	0,202	0,1468	0,713	0,259	0,2048	0,785	0,307	0,2627	0,842	0,350	0,3206	0,889	0,389
0,0321	0,457	0,122	0,0900	0,621	0,203	0,1479	0,715	0,260	0,2058	0,786	0,308	0,2637	0,843	0,351	0,3216	0,890	0,390
0,0332	0,463	0,125	0,0911	0,623	0,204	0,1490	0,716	0,261	0,2069	0,787	0,308	0,2648	0,844	0,352	0,3227	0,891	0,391
0,0342	0,467	0,126	0,0922	0,625	0,205	0,1501	0,717	0,261	0,2080	0,788	0,309	0,2659	0,845	0,352	0,3238	0,892	0,391
0,0353	0,471	0,128	0,0932	0,627	0,206	0,1511	0,719	0,262	0,2090	0,789	0,310	0,2670	0,846	0,353	0,3249	0,893	0,392
0,0364	0,474	0,130	0,0943	0,629	0,208	0,1522	0,720	0,263	0,2101	0,790	0,311	0,2680	0,847	0,354	0,3259	0,894	0,393
0,0375	0,478	0,132	0,0954	0,631	0,209	0,1533	0,721	0,264	0,2112	0,791	0,312	0,2691	0,848	0,355	0,3270	0,894	0,394
0,0385	0,481	0,133	0,0964	0,632	0,210	0,1544	0,723	0,265	0,2123	0,792	0,312	0,2702	0,848	0,355	0,3281	0,895	0,394
0,0396	0,485	0,135	0,0975	0,634	0,211	0,1554	0,724	0,266	0,2133	0,794	0,313	0,2712	0,849	0,356	0,3292	0,896	0,395
0,0407	0,489	0,137	0,0986	0,636	0,212	0,1565	0,726	0,267	0,2144	0,795	0,314	0,2723	0,850	0,357	0,3302	0,897	0,396
0,0418	0,492	0,139	0,0997	0,638	0,213	0,1576	0,727	0,268	0,2155	0,796	0,315	0,2734	0,851	0,357	0,3313	0,898	0,397
0,0428	0,496	0,140	0,1007	0,640	0,214	0,1586	0,728	0,269	0,2166	0,797	0,316	0,2745	0,852	0,358	0,3324	0,899	0,397
0,0439	0,500	0,142	0,1018	0,642	0,215	0,1597	0,730	0,270	0,2176	0,798	0,317	0,2755	0,853	0,359	0,3334	0,900	0,398
0,0450	0,503	0,144	0,1029	0,644	0,216	0,1608	0,731	0,270	0,2187	0,799	0,317	0,2766	0,854	0,360	0,3345	0,900	0,399
0,0460	0,507	0,146	0,1040	0,646	0,217	0,1619	0,733	0,271	0,2198	0,800	0,318	0,2777	0,854	0,360	0,3356	0,901	0,399
0,0471	0,511	0,147	0,1050	0,648	0,219	0,1629	0,734	0,272	0,2208	0,801	0,319	0,2788	0,855	0,361	0,3367	0,902	0,400
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403

0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404
0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407
0,0589	0,545	0,164	0,1168	0,669	0,230	0,1747	0,749	0,282	0,2326	0,813	0,328	0,2905	0,865	0,369	0,3485	0,910	0,407
0,3495	0,911	0,408	0,4074	0,949	0,444	0,4653	0,981	0,479	0,5233	1,010	0,514	0,5812	1,036	0,548	0,6391	1,059	0,581
0,3506	0,911	0,409	0,4085	0,949	0,445	0,4664	0,982	0,480	0,5243	1,011	0,514	0,5822	1,037	0,548	0,6402	1,059	0,582
0,3517	0,912	0,409	0,4096	0,950	0,445	0,4675	0,982	0,481	0,5254	1,011	0,515	0,5833	1,037	0,549	0,6412	1,059	0,583
0,3527	0,913	0,410	0,4107	0,951	0,446	0,4686	0,983	0,481	0,5265	1,012	0,516	0,5844	1,038	0,549	0,6423	1,060	0,583
0,3538	0,913	0,411	0,4117	0,952	0,447	0,4696	0,984	0,482	0,5275	1,012	0,516	0,5855	1,038	0,550	0,6434	1,060	0,584
0,3549	0,914	0,411	0,4128	0,952	0,447	0,4707	0,984	0,482	0,5286	1,013	0,517	0,5865	1,038	0,551	0,6444	1,061	0,584
0,3560	0,915	0,412	0,4139	0,953	0,448	0,4718	0,985	0,483	0,5297	1,013	0,518	0,5876	1,039	0,551	0,6455	1,061	0,585
0,3570	0,916	0,413	0,4149	0,954	0,449	0,4729	0,985	0,484	0,5308	1,014	0,518	0,5887	1,039	0,552	0,6466	1,062	0,586
0,3581	0,916	0,413	0,4160	0,954	0,449	0,4739	0,986	0,484	0,5318	1,014	0,519	0,5897	1,040	0,553	0,6477	1,062	0,586
0,3592	0,917	0,414	0,4171	0,955	0,450	0,4750	0,987	0,485	0,5329	1,015	0,519	0,5908	1,040	0,553	0,6487	1,062	0,587
0,3603	0,918	0,415	0,4182	0,956	0,451	0,4761	0,987	0,486	0,5340	1,015	0,520	0,5919	1,041	0,554	0,6498	1,063	0,588
0,3613	0,918	0,415	0,4192	0,956	0,451	0,4771	0,988	0,486	0,5351	1,016	0,521	0,5930	1,041	0,554	0,6509	1,063	0,588
0,3624	0,919	0,416	0,4203	0,957	0,452	0,4782	0,988	0,487	0,5361	1,016	0,521	0,5940	1,041	0,555	0,6519	1,064	0,589
0,3635	0,920	0,417	0,4214	0,957	0,453	0,4793	0,989	0,488	0,5372	1,017	0,522	0,5951	1,042	0,556	0,6530	1,064	0,589
0,3645	0,921	0,417	0,4225	0,958	0,453	0,4804	0,989	0,488	0,5383	1,017	0,523	0,5962	1,042	0,556	0,6541	1,064	0,590
0,3656	0,921	0,418	0,4235	0,959	0,454	0,4814	0,990	0,489	0,5393	1,018	0,523	0,5973	1,043	0,557	0,6552	1,065	0,591
0,3667	0,922	0,419	0,4246	0,959	0,455	0,4825	0,991	0,490	0,5404	1,018	0,524	0,5983	1,043	0,558	0,6562	1,065	0,591
0,3678	0,923	0,419	0,4257	0,960	0,455	0,4836	0,991	0,490	0,5415	1,019	0,524	0,5994	1,043	0,558	0,6573	1,066	0,592
0,3688	0,923	0,420	0,4267	0,960	0,456	0,4847	0,992	0,491	0,5426	1,019	0,525	0,6005	1,044	0,559	0,6584	1,066	0,592
0,0257	0,425	0,110	0,0836	0,607	0,196	0,1415	0,706	0,254	0,1994	0,780	0,303	0,2573	0,837	0,346	0,3152	0,885	0,386
0,0267	0,431	0,112	0,0846	0,609	0,197	0,1426	0,708	0,255	0,2005	0,781	0,304	0,2584	0,838	0,347	0,3163	0,886	0,386
0,0278	0,436	0,114	0,0857	0,612	0,198	0,1436	0,709	0,256	0,2015	0,782	0,304	0,2594	0,839	0,348	0,3174	0,887	0,387
0,0289	0,441	0,116	0,0868	0,615	0,200	0,1447	0,710	0,257	0,2026	0,783	0,305	0,2605	0,840	0,349	0,3184	0,887	0,388
0,0300	0,447	0,118	0,0879	0,617	0,201	0,1458	0,712	0,258	0,2037	0,784	0,306	0,2616	0,841	0,349	0,3195	0,888	0,389
0,0310	0,452	0,120	0,0889	0,619	0,202	0,1468	0,713	0,259	0,2048	0,785	0,307	0,2627	0,842	0,350	0,3206	0,889	0,389
0,0321	0,457	0,122	0,0900	0,621	0,203	0,1479	0,715	0,260	0,2058	0,786	0,308	0,2637	0,843	0,351	0,3216	0,890	0,390
0,0332	0,463	0,125	0,0911	0,623	0,204	0,1490	0,716	0,261	0,2069	0,787	0,308	0,2648	0,844	0,352	0,3227	0,891	0,391
0,0342	0,467	0,126	0,0922	0,625	0,205	0,1501	0,717	0,261	0,2080	0,788	0,309	0,2659	0,845	0,352	0,3238	0,892	0,391
0,0353	0,471	0,128	0,0932	0,627	0,206	0,1511	0,719	0,262	0,2090	0,789	0,310	0,2670	0,846	0,353	0,3249	0,893	0,392
0,0364	0,474	0,130	0,0943	0,629	0,208	0,1522	0,720	0,263	0,2101	0,790	0,311	0,2680	0,847	0,354	0,3259	0,894	0,393
0,0375	0,478	0,132	0,0954	0,631	0,209	0,1533	0,721	0,264	0,2112	0,791	0,312	0,2691	0,848	0,355	0,3270	0,894	0,394
0,0385	0,481	0,133	0,0964	0,632	0,210	0,1544	0,723	0,265	0,2123	0,792	0,312	0,2702	0,848	0,355	0,3281	0,895	0,394
0,0396	0,485	0,135	0,0975	0,634	0,211	0,1554	0,724	0,266	0,2133	0,794	0,313	0,2712	0,849	0,356	0,3292	0,896	0,395
0,0407	0,489	0,137	0,0986	0,636	0,212	0,1565	0,726	0,267	0,2144	0,795	0,314	0,2723	0,850	0,357	0,3302	0,897	0,396
0,0418	0,492	0,139	0,0997	0,638	0,213	0,1576	0,727	0,268	0,2155	0,796	0,315	0,2734	0,851	0,357	0,3313	0,898	0,397
0,0428	0,496	0,140	0,1007	0,640	0,214	0,1586	0,728	0,269	0,2166	0,797	0,316	0,2745	0,852	0,358	0,3324	0,899	0,397
0,0439	0,500	0,142	0,1018	0,642	0,215	0,1597	0,730	0,270	0,2176	0,798	0,317	0,2755	0,853	0,359	0,3334	0,900	0,398
0,0450	0,503	0,144	0,1029	0,644	0,216	0,1608	0,731	0,270	0,2187	0,799	0,317	0,2766	0,854	0,360	0,3345	0,900	0,399
0,0460	0,507	0,146	0,1040	0,646	0,217	0,1619	0,733	0,271	0,2198	0,800	0,318	0,2777	0,854	0,360	0,3356	0,901	0,399
0,0471	0,511	0,147	0,1050	0,648	0,219	0,1629	0,734	0,272	0,2208	0,801	0,319	0,2788	0,855	0,361	0,3367	0,902	0,400
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403
0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404

0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407
0,0589	0,545	0,164	0,1168	0,669	0,230	0,1747	0,749	0,282	0,2326	0,813	0,328	0,2905	0,865	0,369	0,3485	0,910	0,407
0,3495	0,911	0,408	0,4074	0,949	0,444	0,4653	0,981	0,479	0,5233	1,010	0,514	0,5812	1,036	0,548	0,6391	1,059	0,581
0,3506	0,911	0,409	0,4085	0,949	0,445	0,4664	0,982	0,480	0,5243	1,011	0,514	0,5822	1,037	0,548	0,6402	1,059	0,582
0,3517	0,912	0,409	0,4096	0,950	0,445	0,4675	0,982	0,481	0,5254	1,011	0,515	0,5833	1,037	0,549	0,6412	1,059	0,583
0,3527	0,913	0,410	0,4107	0,951	0,446	0,4686	0,983	0,481	0,5265	1,012	0,516	0,5844	1,038	0,549	0,6423	1,060	0,583
0,3538	0,913	0,411	0,4117	0,952	0,447	0,4696	0,984	0,482	0,5275	1,012	0,516	0,5855	1,038	0,550	0,6434	1,060	0,584
0,3549	0,914	0,411	0,4128	0,952	0,447	0,4707	0,984	0,482	0,5286	1,013	0,517	0,5865	1,038	0,551	0,6444	1,061	0,584
0,3560	0,915	0,412	0,4139	0,953	0,448	0,4718	0,985	0,483	0,5297	1,013	0,518	0,5876	1,039	0,551	0,6455	1,061	0,585
0,3570	0,916	0,413	0,4149	0,954	0,449	0,4729	0,985	0,484	0,5308	1,014	0,518	0,5887	1,039	0,552	0,6466	1,062	0,586
0,3581	0,916	0,413	0,4160	0,954	0,449	0,4739	0,986	0,484	0,5318	1,014	0,519	0,5897	1,040	0,553	0,6477	1,062	0,586
0,3592	0,917	0,414	0,4171	0,955	0,450	0,4750	0,987	0,485	0,5329	1,015	0,519	0,5908	1,040	0,553	0,6487	1,062	0,587
0,3603	0,918	0,415	0,4182	0,956	0,451	0,4761	0,987	0,486	0,5340	1,015	0,520	0,5919	1,041	0,554	0,6498	1,063	0,588
0,3613	0,918	0,415	0,4192	0,956	0,451	0,4771	0,988	0,486	0,5351	1,016	0,521	0,5930	1,041	0,554	0,6509	1,063	0,588
0,3624	0,919	0,416	0,4203	0,957	0,452	0,4782	0,988	0,487	0,5361	1,016	0,521	0,5940	1,041	0,555	0,6519	1,064	0,589
0,3635	0,920	0,417	0,4214	0,957	0,453	0,4793	0,989	0,488	0,5372	1,017	0,522	0,5951	1,042	0,556	0,6530	1,064	0,589
0,3645	0,921	0,417	0,4225	0,958	0,453	0,4804	0,989	0,488	0,5383	1,017	0,523	0,5962	1,042	0,556	0,6541	1,064	0,590
0,3656	0,921	0,418	0,4235	0,959	0,454	0,4814	0,990	0,489	0,5393	1,018	0,523	0,5973	1,043	0,557	0,6552	1,065	0,591
0,3667	0,922	0,419	0,4246	0,959	0,455	0,4825	0,991	0,490	0,5404	1,018	0,524	0,5983	1,043	0,558	0,6562	1,065	0,591
0,3678	0,923	0,419	0,4257	0,960	0,455	0,4836	0,991	0,490	0,5415	1,019	0,524	0,5994	1,043	0,558	0,6573	1,066	0,592
0,3688	0,923	0,420	0,4267	0,960	0,456	0,4847	0,992	0,491	0,5426	1,019	0,525	0,6005	1,044	0,559	0,6584	1,066	0,592
0,3699	0,924	0,421	0,4278	0,961	0,457	0,4857	0,992	0,492	0,5436	1,020	0,526	0,6015	1,044	0,559	0,6595	1,066	0,593
0,3710	0,925	0,421	0,4289	0,962	0,457	0,4868	0,993	0,492	0,5447	1,020	0,526	0,6026	1,045	0,560	0,6605	1,067	0,594
0,3721	0,925	0,422	0,4300	0,962	0,458	0,4879	0,994	0,493	0,5458	1,020	0,527	0,6037	1,045	0,561	0,6616	1,067	0,594
0,3731	0,926	0,423	0,4310	0,963	0,459	0,4889	0,994	0,494	0,5469	1,021	0,528	0,6048	1,045	0,561	0,6627	1,068	0,595
0,3742	0,927	0,423	0,4321	0,963	0,459	0,4900	0,995	0,494	0,5479	1,021	0,528	0,6058	1,046	0,562	0,6637	1,068	0,596
0,3753	0,928	0,424	0,4332	0,964	0,460	0,4911	0,995	0,495	0,5490	1,022	0,529	0,6069	1,046	0,563	0,6648	1,069	0,596
0,3763	0,928	0,425	0,4342	0,964	0,460	0,4922	0,996	0,495	0,5501	1,022	0,529	0,6080	1,047	0,563	0,6659	1,069	0,597
0,3774	0,929	0,425	0,4353	0,965	0,461	0,4932	0,996	0,496	0,5511	1,023	0,530	0,6091	1,047	0,564	0,6670	1,069	0,597
0,3785	0,930	0,426	0,4364	0,966	0,462	0,4943	0,997	0,497	0,5522	1,023	0,531	0,6101	1,048	0,564	0,6680	1,070	0,598
0,3796	0,930	0,427	0,4375	0,966	0,462	0,4954	0,998	0,497	0,5533	1,024	0,531	0,6112	1,048	0,565	0,6691	1,070	0,599
0,3806	0,931	0,427	0,4385	0,967	0,463	0,4964	0,998	0,498	0,5544	1,024	0,532	0,6123	1,048	0,566	0,6702	1,071	0,599
0,3817	0,932	0,428	0,4396	0,967	0,464	0,4975	0,999	0,499	0,5554	1,025	0,533	0,6133	1,049	0,566	0,6713	1,071	0,600
0,3828	0,933	0,429	0,4407	0,968	0,464	0,4986	0,999	0,499	0,5565	1,025	0,533	0,6144	1,049	0,567	0,6723	1,071	0,601
0,3838	0,933	0,429	0,4418	0,969	0,465	0,4997	1,000	0,500	0,5576	1,026	0,534	0,6155	1,050	0,568	0,6734	1,072	0,601
0,3849	0,934	0,430	0,4428	0,969	0,466	0,5007	1,000	0,501	0,5586	1,026	0,534	0,6166	1,050	0,568	0,6745	1,072	0,602
0,3860	0,935	0,431	0,4439	0,970	0,466	0,5018	1,001	0,501	0,5597	1,027	0,535	0,6176	1,050	0,569	0,6755	1,072	0,603
0,3871	0,935	0,431	0,4450	0,970	0,467	0,5029	1,001	0,502	0,5608	1,027	0,536	0,6187	1,051	0,569	0,6766	1,073	0,603
0,3881	0,936	0,432	0,4460	0,971	0,468	0,5040	1,002	0,502	0,5619	1,028	0,536	0,6198	1,051	0,570	0,6777	1,073	0,604
0,3892	0,937	0,433	0,4471	0,971	0,468	0,5050	1,002	0,503	0,5629	1,028	0,537	0,6208	1,052	0,571	0,6788	1,073	0,604
0,3903	0,937	0,433	0,4482	0,972	0,469	0,5061	1,003	0,504	0,5640	1,029	0,538	0,6219	1,052	0,571	0,6798	1,074	0,605
0,3914	0,938	0,434	0,4493	0,973	0,470	0,5072	1,003	0,504	0,5651	1,029	0,538	0,6230	1,052	0,572	0,6809	1,074	0,606
0,3924	0,939	0,435	0,4503	0,973	0,470	0,5082	1,004	0,505	0,5662	1,030	0,539	0,6241	1,053	0,573	0,6820	1,075	0,606
0,3935	0,940	0,435	0,4514	0,974	0,471	0,5093	1,004	0,506	0,5672	1,030	0,539	0,6251	1,053	0,573	0,6830	1,075	0,607
0,3946	0,940	0,436	0,4525	0,974	0,471	0,5104	1,005	0,506	0,5683	1,030	0,540	0,6262	1,054	0,574	0,6841	1,075	0,608
0,3956	0,941	0,437	0,4536	0,975	0,472	0,5115	1,005	0,507	0,5694	1,031	0,541	0,6273	1,054	0,574	0,6852	1,076	0,608
0,3967	0,942	0,437	0,4546	0,976	0,473	0,5125	1,006	0,507	0,5704	1,031	0,541	0,6284	1,055	0,575	0,6863	1,076	0,609
0,3978	0,942	0,438	0,4557	0,976	0,473	0,5136	1,006	0,508	0,5715	1,032	0,542	0,6294	1,055	0,576	0,6873	1,076	0,610
0,3989	0,943	0,439	0,4568	0,977	0,474	0,5147	1,007	0,509	0,5726	1,032	0,543	0,6305	1,055	0,576	0,6884	1,077	0,610
0,3999	0,944	0,439	0,4578	0,977	0,475	0,5158	1,007	0,509	0,5737	1,033	0,543	0,6316	1,056	0,577	0,6895	1,077	0,611

0,4010	0,945	0,440	0,4589	0,978	0,475	0,5168	1,008	0,510	0,5747	1,033	0,544	0,6326	1,056	0,578	0,6906	1,077	0,612
0,4021	0,945	0,441	0,4600	0,978	0,476	0,5179	1,008	0,511	0,5758	1,034	0,544	0,6337	1,057	0,578	0,6916	1,078	0,612
0,4032	0,946	0,441	0,4611	0,979	0,477	0,5190	1,009	0,511	0,5769	1,034	0,545	0,6348	1,057	0,579	0,6927	1,078	0,613
0,4042	0,947	0,442	0,4621	0,980	0,477	0,5200	1,009	0,512	0,5780	1,035	0,546	0,6359	1,057	0,579	0,6938	1,079	0,613
0,4053	0,947	0,443	0,4632	0,980	0,478	0,5211	1,010	0,513	0,5790	1,035	0,546	0,6369	1,058	0,580	0,6948	1,079	0,614
0,4064	0,948	0,443	0,4643	0,981	0,479	0,5222	1,010	0,513	0,5801	1,036	0,547	0,6380	1,058	0,581	0,6959	1,079	0,615

Annexe D : Localisation des essais a long du trace.



Annexe E : Classification des sols selon UIC.

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines ^a) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes ^b (quick-clay par exemple)	
0.4	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 organiques" ^b	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1 ^c
1.4	Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines ^a	QS2 ^d
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines ^a mais uniformes ($C_u \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$	

ANNEXE F : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise selon UIC719R.

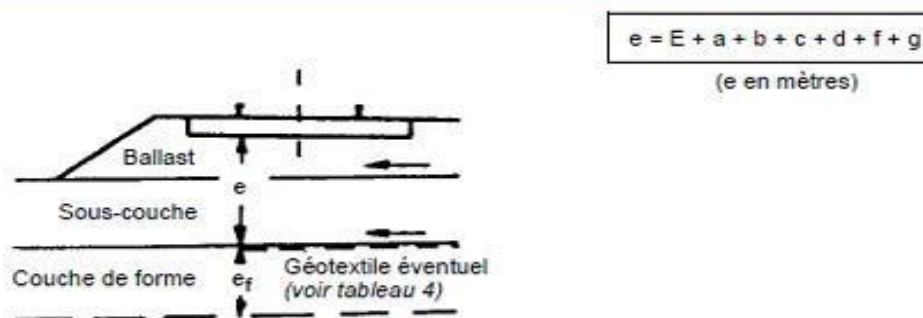


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

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) (voir Bibliographie).

c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

Annexe G : Étude de stabilité remblai

Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Data : 22/05/2026

Settings

Philippines - DPWH Settings

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

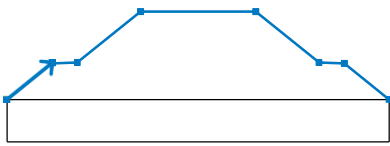
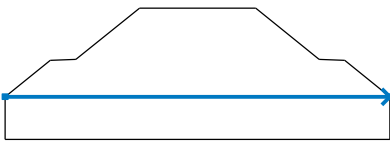
Earthquake analysis : Standard

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	$SF_s =$	1,50	[—]

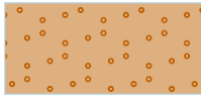
Anchors verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[—]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[—]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[—]

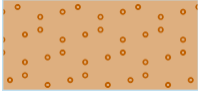
Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	0,00	5,28	4,25	8,28	4,37
		15,74	10,37	29,34	10,37	36,79	4,37
		39,79	4,25	45,07	0,00		
2		0,00	0,00	45,07	0,00		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	remblais		33,00	5,00	17,00
2	Q2al		7,30	99,00	16,00

Soil parameters-uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	remblais		19,00		
2	Q2al		20,00		

Soil parameters

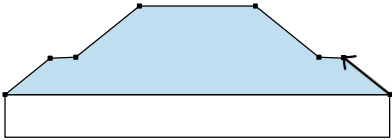
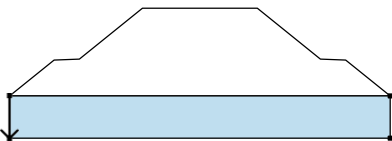
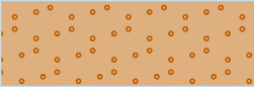
remblais

Unit weight : $\gamma = 17.00 \text{ KN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 33,00$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00 \text{ KPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19.00 \text{ KN/m}^3$

Q2al

Unit weight : $\gamma = 16.00 \text{ KN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 7,30$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 99,00 \text{ KPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20.00 \text{ KN/m}^3$

Assigning and surfaces

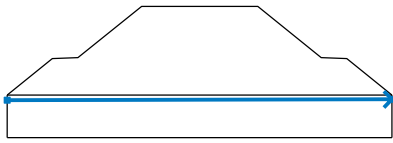
No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		45,07	0,00	39,79	4,25	remblais 
		36,79	4,37	29,34	10,37	
		15,74	10,37	8,28	4,37	
		5,28	4,25	0,00	0,00	
2		0,00	0,00	0,00	-5,00	Q2al 
		45,07	-5,00	45,07	0,00	

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	q, q ₁ , f, F, x	Magnitude q ₂ , z	unit
1	strip	variable	on terrain	x = 19,72	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	variable	on terrain	x = 23,93	l = 1,44		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Watertype :GWT

No.	GWT location	Coordinates of GWT points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	-0,62	45,07	-0,52		

Tensile crack

Tensile cracknot input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Constructionstage1)

Analysis1

Circular slip surface

Slip surface parameters						
Center :	x =	48,19	[m]	Angles :	α_1 =	-52,09 [°]
	z =	26,97	[m]		α_2 =	-7,04 [°]
Radius :	R =	27,02	[m]			
The slip surface after optimization.						

Total weight of soil above the slip surface : 654,14 kN/m

Slopestabilityverification(Bishop)

Sum of active forces : Fa = 311,84 kN/m

Sum of passive forces : Fp = 488,38 kN/m

Sliding moment : Ma = 8426,12 kNm/m

Resisting moment : Mp = 13196.07 kNm/m

Factor of safety = **1,57>1,50**

Slope stability ACCEPTABLE