République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude de la nouvelle ligne ferroviaire Ouargla- Hassi Messaoudde de PK19+000 au PK 32+000 avec la conception de la gare Ain Beida.

Présenté par :

CHERGUI Abdelkader

LANTRI Hicham

Encadré par :

Mr. OUALI Adel

Promotion 2022 / 2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMÈRCIEMENTS

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers Dieu pour tout ce qu'Il nous a accordé. Nous aimerions également remercier tous les enseignants qui ont partagé leur savoir avec nous tout au long de notre parcours à l'école ENSTP. Votre compétence exceptionnelle a été d'une grande valeur pour nous.

Ensuite, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers l'école et en particulier envers le directeur des études, M. FEDGHOUCH, ainsi que le chef de département, M. HAMADI Kamel, et tous les membres du personnel du département, Mme Iman , Mme Mahdia BOUREBIA et Mme Nada BOUMEHREZ, ainsi que tous ceux dont nous n'avons pas mentionné les noms, mais qui ont contribué à notre réussite.

Nous aimerions également remercier notre encadreur, M. Adel OUALI, ainsi que toute l'équipe de SETI REIL pour leur soutien inconditionnel et leur facilitation de l'accès aux informations nécessaires. Nous n'oublierons pas de mentionner M. KHALIFA Issa pour son assistance précieuse concernant les logiciels utilisés.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers nos amis, Youssef SAHI et Mohamed CHERBALI, pour leur soutien financier et moral.

Et en dernier lieu, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont soutenus de près ou de loin, que ce soit de manière importante ou insignifiante. Votre aide et votre soutien ont été précieux à nos yeux.

Merci encore à tous pour votre précieuse contribution à notre réussite.

Veuillez agréer nos sincères salutations.

Dédicace

J'aimerais exprimer ma gratitude et mon respect à mes parents, Mohamed et Rahma, et les remercier pour leur présence dans ma vie. Les mots me manquent pour exprimer combien je suis reconnaissant envers eux et leur bienveillance. Je souhaite également adresser mes vœux de réussite et de bonheur à mes frères, Oussama et Selsabil.

Je tiens également à exprimer mon appréciation envers mes grands-parents regrettés, Hanachi, Amra et amhamed, ainsi que ma chère grand-mère Zahra. Que Dieu lui accorde une longue vie. Je voudrais également exprimer ma gratitude envers tous mes oncles, tantes, en particulier Malika, ainsi que tous leurs conjoints et mes cousins. Ils me font sentir l'importance et la valeur d'avoir une famille.

Je tiens également à remercier mes amis proches qui ont joué un rôle important dans ma vie, tels que Karim, Attallah, Farouk, Ahmed, Zitouni, Abdelrrazak, Lakhder, Nasser,Hachelfi, Oussama, Ben-aissa, Zaki, Hakim, Djamel, Mourad, Said Ali, Omar, Amin, Othman, Lotfi, Hamza, billal, Ardjoun, Lahcen,Chekhchoukh et Boualia et tous ceux dont les noms n'ont pas été mentionnés. Je leur suis extrêmement reconnaissant. Je leur souhaite ainsi qu'à leurs familles tout le meilleur.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers ceux qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière éducative, en particulier pendant mes années au lycée. Je remercie mes enseignants, M. Habach, Mme Bachar, Mme Ben Zergua, M. Hadj-Ali, M. Rabeh, ainsi que tous les autres enseignants qui m'ont soutenu. Ils ont été de bons modèles et de bons éducateurs.

Je voudrais également exprimer ma gratitude envers tous ceux qui nous ont apporté leur soutien, y compris ceux dont les noms n'ont pas été mentionnés. Leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Encore une fois, je remercie tout le monde et je vous souhaite tout le succès possible.

LANTRI Hicham

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier le grand Dieu qui m'a donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Je dédie ce travail modeste à ma chère famille, en tête de laquelle se trouvent mes parents, Yahia et Fatiha, pour leur accompagnement tout au long de cette période et tout au long de mon parcours éducatif. Je leur souhaite une bonne santé et une longue vie, qu'Allah les protège.

Je le dédie également à mon frère Moussa et à mes chères sœurs. J'aimerais dédier ce travail à tous les membres des familles Chergui et Hamlaoui.

Je le dédie à la fille de mon petit frère, Baraa.

J'aimerais également exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail à tous mes enseignants dans mon parcours scolaire. Je leur souhaite réussite et épanouissement.

À mes chers amis Djamel, Zouhir. Karim, Moussa, Abdelkarim, Omar, Oussama, Youssef, Lotfi, Nacer, Mohamed, et Sid Ali, anipa . Mourad. Ben Aïssa.Yacin.Ismail. Ainsi qu'à tous mes amis sans exception, je dédie ce travail.

.

CHREGUI Abdel-Kader

ملخص

تشكل هذه المذكرة دراسة مفصلة قبل المشروع لجزء من خط السكك الحديدية الذي يربط ورقلة بحاسي مسعود. تتعلق الدراسة بشكل خاص بمقطع يمتد لمسافة 13 كم، من النقطة الكيلومترية 000+19 إلى النقطة الكيلومترية 000+32، مع تنفيذ تصميم محطة الركاب في عين البيضاء.

تم تنفيذ هذا المشروع وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية(UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية(SNTF) وتم استخدام برامج النمذجة والحساب التالية في المشروع , Global mapper 23,autocad 16 Covadis 16

الكلمات الرئيسية: سكك حديدية، محطة، ورقلة، حاسي مسعود

Résumé

Ce mémoire constitue une étude avant-projet détaillée pour une partie du tronçon ferroviaire reliant Ouargla à Hassi Messaoud. L'étude concerne spécifiquement une section de 13 km, s'étendant du point kilométrique 19+000 au point kilométrique 32+000, avec la conception de la gare des voyageurs à Ain Beida.

Ce projet a été mis en œuvre conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et aux recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF) en matière de chemins de fer. Les logiciels de modélisation et de calcul utilisés dans le projet sont : Global mapper23, Autocad 16, Covadis 16.

Mots-clés : chemins de fer, gare, Ouargla, Hassi Messaoud.

Abstract

This graduation project represents a preliminary detailed study for a section of the railway line linking Ouargla to Hassi Messaoud. The study specifically pertains to a 13 km long segment, precisely from kilometer point 19+000 to kilometer point 32+000, including the design of Ain Beida passenger station.

This project has been executed in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Company for Rail Transport (SNTF). The modeling and calculation software used in the project include : Global mapper23, Autocad 16, Covadis 16.

Keywords : railway, station, Ouargla, Hassi Messaoud.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 2

I.1 Transport ferroviaire en Algérie 2

I.2 L'histoire des chemins de fer d'Algérie 3

I.3 . Le programme de développement des infrastructures ferroviaires 3

I.4 Avantages des chemins de fer 4

I.5 L'ensablement 5

I.5.1 Introduction 5

I.5.2 Identification et maitrise du risque d'ensablement le long du tracé 5

I.5.3 Action du vent sur la topographie des régions saharienne 6

I.5.4 Classification des dunes 6

I.5.5 Critères du mouvement des dunes 6

I.5.6 Déplacement de sable 7

I.5.7 Procédés de lutte contre l'ensablement 7

II. PRESENTATION DU PROJET 10

II.1 Introduction 10

II.2 Situation et description du projet 10

II.3 Présentation de la zone d'étude 10

II.4 Relief 11

II.5 Caractéristique de notre projet 11

II.5.1 LES OBJECTIFS DU PROJET 12

II.5.2 Les ouvrages de notre projet 12

III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE 14

III.1 Introduction 14

III.2 La voie 14

III.2.1 Les composantes de la voie 14

III.2.2 Les rails 14

III.2.3 L'écartement des rails 15

III.2.4 Travers 16

III.2.5 Les Attaches 16

III.3 Conclusion 17

IV. TRACE EN PLAN 18
IV.1 Introduction 18
IV.2 Critère de limitation des paramètres de trace en plan 18
IV.3 Normes et paramètres de conception géométrique : 18
IV.3.1 Paramètres de conception : 18
IV.4 Règles à respecter de tracé en plan selon la SNTF : 18
IV.5 Trace en plan 19
IV.5.1 Les éléments de la trace en plan 19
IV.6 Récapitulatif des valeurs limites de paramètres d'axe 21
IV.7 Application au projet : 21
V. PROFIL EN LONG 24
V.1 Introduction : 24
V.2 Définition : 24
V.2.1 Profil en long du terrain naturel : 24
V.2.2 Profil en long Du Projet : 24
V.2.3 Déclivité : 24
V.3 Eléments géométriques du profil en long : 24
V.3.1 Choix des alignements droits : 25
V.3.2 Règles à respecter dans la trace du profil en long : 26
V.3.3 Longueur minimale des éléments du profil en long : 26
V.3.4 LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG : 26
V.4 Les contraintes le long du tracé : 27
V.5 Conclusion : 27
VI. ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE 28
VI.1 INTRODUCTION 28
VI.2 ÉTUDE GEOLOGIQUE : 28
VI.2.1 Présentation de la zone d'étude : 28
VI.2.2 CADRE GEOLOGIQUE : 29
VI.2.3 Sectorisation géologique : 30
VI.2.4 Sismicité : 30
VI.2.5 Risques géologiques : 31
VI.2.6 Contraintes géologiques : 31
VI.3 ETUDE GEOTECHNIQUE : 31

VI.3.1 Introduction :.....31
VI.3.2 Travaux de reconnaissance et compagne d'essai :.....32
VI.3.3 Sondage réalisé : 32
VI.3.4 Puits de reconnaissance : 33
VI.3.5 Essai in situ : 33
VI.4 Interprétation des résultats des essais de pénétromètre dynamique : 34
VI.4.1 Essais au laboratoire : 34
VI.5 Résultats des essais sur les puits de reconnaissance 37
VI.5.1 CLASSIFICATION DES SOLS : 37
VI.6 Utilisation des matériaux disponibles dans le Sahara : 40
VI.6.1 Utilisation des sables de dunes 40
VI.6.2 Matériaux de corps de Remblais et exigences constructives pour exécution : 40
VI.7 Conclusion : 41
VII. ASSISE FERROVIAIRE.....42
VII.1 Introduction : 42
VII.2 Structure D'assise Et Dimensionnement De La Plateforme Ferroviaire : 42
Plate- Forme Proposée : 42
VII.3 Méthode de dimensionnement adoptée : 42
VII.4 Plateforme proposée: 42
VII.5 Dimensionnement de la structure d'assise : 44
VII.5.1 Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R : 44
VII.6 Application au projet: 45
VIII. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 46
VIII.1 Introduction 46
VIII.2 Contexte hydrologique général : 46
VIII.2.1 Description du site de projet 46
VIII.2.2 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE 47
VIII.2.3 BASSINS VERSANTS 48
VIII.2.4 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) : 52
VIII.3 Etude Hydraulique : 53
VIII.3.1 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal 53
VIII.3.2 Assainissement longitudinal 55

VIII.3.3 Les hypothèses suivantes ont été posées pour effectuer le calcul des dimensions nécessaires : 56
VIII.3.4 Application sur le projet 56
VIII.4 Conclusion....57
IX. PROFILE EN TRAVERS 59
IX.1 INTRODUCTION....59
IX.2 PROFIL DE TRAVERS....59
IX.3 Les éléments constitutifs d'un profil en travers....59
IX.4 Les caractéristiques de profil en travers affecté dans notre projet....60
X. TERRASSEMENT ET OUVRAGE....61
X.1 Introduction....61
X.2 Section en déblai....61
X.2.1 Protection Des Talus....61
X.3 Section en remblai....61
X.3.1 Protection de surface des remblais....62
X.4 CALCUL DES VOLUMES DES TERRASSEMENT....62
X.5 Les ouvrages....63
X.5.1 Ouvrage Hydrauliques....63
X.5.2 Protections des conduites de gaz....63
X.6 Conclusion....64
XI. CONCEPTION DE LA GARE AIN BEIDA 65
XI.1 Introduction :....65
XI.2 DIFFERENTS TYPES DE GARES....65
XI.3 AMENAGEMENT DE LA GARE....66
XI.3.1 Installations d'une gare a voyageur....66
XI.4 La gare de AIN EL BEIDA....70
XI.5 Assainissement dans la gare....72
XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE....73
XII.1 Introduction....73
XII.2 Rôle de l'installation de signalisation....73
XII.3 Différentes fonctions des signaux :....73
XII.4 Type de signalisations :....73
XII.4.1 Signalisation lumineuse :....73
XII.4.2 Signal mécanique :....73

XII.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX : 74
XII.5.1 Implantation des signaux 74
XII.6 Localisation des signaux : 74
XII.7 Visibilité des signaux : 75
XII.8 Le système de signalisation ERTMS 75
XII.9 Signaux à respecter 75
XII.10 Electrification 76
XII.11 Conclusion 76
XIII. ETUDE IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 77
XIII.1 Introduction 77
XIII.2 Délimitation de la zone d'étude 77
XIII.3 Objectifs de l'étude : 78
XIII.4 Milieu physique 78
XIII.4.1 Topographie 78
XIII.4.2 Hydrographie 78
XIII.4.3 Sismologie 78
XIII.4.4 Climat 79
XIII.5 Milieu naturel 79
XIII.5.1 La flore & La faune 79
XIII.6 Milieu humain 81
XIII.6.1 La population 81
XIII.7 L'agriculture : 81
XIII.8 L'industrie 81
XIII.9 Les infrastructures de transport 81
XIII.10 Tourisme 81
XIII.11 Des impacts positifs et négatifs des couloirs 81
XIII.12 Mesure prise en compte 82
XIII.13 Conclusion 83
XIV. DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF 85
Conclusion générale 87
ANNEXS

Liste des tableaux

Tableau I-1 : principaux d'évacuation de sable 8
Tableau II-1: Présentation du type d'ouvrage .....**Error! Bookmark not defined.**
Tableau III-1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1.....15
Tableau III-2: Caractéristiques et type d'installation pour notre projet.....17
Tableau IV-1:Récapitulatif des valeurs limites de paramètres d'axe 21
Tableau IV-2:Les résultats de calcul pour notre axe en plan 18
Tableau V-1 : Limites des valeurs de la longueur minimale des déclivités constantes.....26
Tableau V-2: Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter 26
Tableau V-3: paramètre profil en long.....27
Tableau VI-1: Position des sondages.....32
Tableau VI-2: Position des puits.....33
Tableau VI-3 : Lecture piézométrique 33
Tableau VI-4: Les résultats de l'essai SPT 33
Tableau VI-5 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée 34
Tableau VI-6 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée 35
Tableau VI-7: Les valeurs de la densité sèche 35
Tableau VI-8 : Les résultats de l'essai De Résistance Au Cisaillement Rectiligne À La Boite 35
Tableau VI-9 : Les résultats des analyses chimiques.....36
Tableau VI-10 : Les résultats des analyses chimiques.....36
Tableau VI-11 : Les résultats d'Essai Proctor normal 37
Tableau VI-12Les résultats a partir des puits de reconnaissance 37
Tableau VI-13 : Les résultats a partir des forages 39
Tableau VI-14 : Les résultats a partir des puits de reconnaissance 39
Tableau VII-1: détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719). 42
Tableau VII-2 : épaisseur des différentes couches 45
Tableau VIII-1 : Précipitation mensuelle moyenne à Ouargla de la période (2004 - 2014) 47
Tableau VIII-2: Les températures mensuelles à Ouargla de la période entre (2004 - 2014) 47
Tableau VIII-3: Vitesse moyenne mensuelle des vents de la période entre (2004-2014) ...47
Tableau VIII-4: valeurs des paramètres pour la station de Ouargla. 48
Tableau VIII-5 : pluies maximales journalières. 48
Tableau VIII-6 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des bassins versants tout le long de tracé.....49
Tableau VIII-7 : Valeurs de coefficient C2 en fonction de la nature de sol 51
Tableau VIII-8 : Valeurs de coefficient C3 en fonction de la couverture végétale 51
Tableau VIII-9: Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle 53
Tableau VIII-10 : Liste globale des ouvrages à projeter.....55
Tableau VIII-11: débit apport cas déblai.....56
Tableau VIII-12 : dimensionnement du fossé proposé 57
Tableau X-1 : Les principales zones des déblais le long du tracé 61
Tableau X-2: Les zones de remblais tout au long du tracé 61

Tableau X-3 : Récapitulatif des volumes de terrassement 62
Tableau X-4: Récapitulatif des volumes des couches d'assise. 62
Tableau X-5 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet 63
Tableau X-6: Liste des ouvrages hydraulique 63
Tableau XI-1 : Paramètres de l'appareil de voie. 70
Tableau XIV-1: devis quantitatif estimatif. 85

Liste des figures

Figure I-1Réseau ferroviaire algérien actuel 2
Figure I-2Des lignes de chemin de fer en Algérie depuis le début XXe siècle.....3
Figure I-3Nappage sableux 5
Figure I-4Pin d'Alep et Cyprès vert.....7
Figure II-1: Situation géographique de la zone d'étude.....11
Figure II-2: Ensemble morphologique de la zone d'étude.....11
Figure III-1: Superstructure d'une voie.....14
Figure III-2: Ecartement des rails 15
Figure III-3: Traverse en BA 16
Figure III-4: Les Attaches 17
Figure IV-1 : Eléments de tracé en plan.....20
Figure V-1: Eléments géométriques du profil en long.....25
Figure V-2 : Valeurs limites d'inclinaison en fonction des longueurs de rampe 25
Figure VI-1: Situation géographique de la zone d'étude (Superposition de tables : Open Street Mapp, limites wilayas et limites communes) 28
Figure VI-2 : Carte géologique de la zone d'étude (carte géologique de l'Algérie 1/500 000) 29
Figure VI-3 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008).....30
Figure VII-1 : Elément de la superstructure.....44
Figure VIII-1: Situation géographique du projet.....46
Figure VIII-2 : fosse trapézoïdale.....55
Figure X-1: coupe transversale de protection des conduites de GAZ 64
Figure XI-1: garage franc.....67
Figure XI-2: longueur utile.....68
Figure XI-3: Heurtoirs 68
Figure XI-4: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie (source UIC741 OR).....69
Figure XI-5: Schéma de l'appareil de voie. 70
Figure XI-6: La gare de AIN EL BEIDA.....71
Figure XI-7 : gare de Ain el Beida. 71
Figure XI-8: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie.....72
Figure XII-1: Le systeme europeen de controle des trains (ERTMS) niveau 1 75
Figure XIII-1 : Localisation de la zone d'étude 77
Figure XIII-2 : Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude.....80

Liste des symboles

Symbole	Désignation	Unité
L_{min}	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
R_{min}	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
d_{th}	Dévers théorique	mm
d_p	Devers pratique	mm
d_{max}	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dI}{dt}$	Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dd}{dl}$	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
A	Paramètre de la clothoïde	m
C	Coefficient de dévers	-
$R_{v\ min}$	Rayon vertical minimum	m
p	Déclivité Pente	-
GF	garage franc.	m
Lu	Longueur utile	m
γ h	Poids volumique humide	t/m^3
γ d	Poids volumique sec	t/m^3
γ opt	Poids volumique optimum	t/m^3
ES	Equivalent de sable	-
ω_{opt}	Teneur en eau optimum	-
ϕ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
Rc	Résistance à la compression	Bars
Caco3	Carbonate de calcium	-
So4	Sulfate	-
Insolub	Pourcentage insoluble	-
T	Période de retour	ans
tc	Temps de concentration	h
V	Vitesse d'écoulement	m/s
Su	Section mouillée	m^2
Pu	Périmètre mouillé	m
R_h	Rayon Hydraulique	m
$P_{max,j}$	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
Kc	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K_{St}	Coefficient de rugosité	-
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m^3/s
Qps	Débit a plein section	m^3/s
Qa	**Débit d'apport**	m^3/s

INTRODUCTION GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport jouent un rôle fondamental dans le développement économique d'un pays. En effet, la densification de ces infrastructures est un phénomène largement observé dans les pays développés. Le secteur des transports améliore la circulation des biens et des personnes, facilitant ainsi les échanges entre les acteurs économiques.

Parmi ces infrastructures, le transport ferroviaire se distingue en offrant des services compétitifs aux voyageurs et aux chargeurs, couvrant l'ensemble du territoire pour répondre à des besoins variés. Il est un facteur clé de compétitivité et d'attractivité, tant au niveau national que régional, et représente un enjeu économique, social et écologique. Le transport ferroviaire, avec ses avantages par rapport au transport routier, est particulièrement adapté au déplacement de gros volumes sur de longues distances.

La superficie considérable de l'Algérie, s'élevant à environ 2,5 millions de km², nécessite le développement d'un réseau ferroviaire capable de répondre aux besoins du pays. Ainsi, l'Algérie a entrepris plusieurs programmes visant à construire de nouvelles lignes et à étendre les lignes existantes pour améliorer les débits. Bien que certaines régions du pays restent encore isolées, l'Algérie a réussi à développer son réseau ferroviaire grâce à une approche optimiste et à des programmes de développement bien étudiés. Aujourd'hui, le réseau ferroviaire algérien est l'un des plus modernes d'Afrique, avec une ambition gouvernementale de connecter toutes les villes du pays par le rail. Actuellement, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur plus de 5 000 km

Selon le directeur général de l'ANESRIF en 2018, lors d'une interview sur CANAL Algérie, l'Algérie prévoit d'atteindre 6 000 km de chemins de fer à court terme et 12 500 km à moyen et long terme. Ces chemins de fer seront électrifiés et permettront une exploitation à grande vitesse, variant entre 160 et 220 km/h. Ces développements seront rendus possibles grâce à plusieurs projets, tels que l'aménagement de la rocade nord sur une distance de 1 822 km (avec augmentation de sa vitesse), la construction de la rocade ferroviaire des hauts plateaux sur 1 162 km, la liaison des grands ports du pays à la rocade nord, la modernisation et la rénovation des lignes minières dans l'extrême est du pays sur 388 km, reliant Annaba à Djebel el Ounk, entre autres.

Ce travail de fin d'étude consiste en une étude en APD du tronçon ferroviaire du PK19+000 au PK 32+000 reliant Ouargla à Hassi-Messaoud, sur une distance de 85 km à voie unique. Ce tronçon est conçu pour une vitesse maximale de 220 km/h et prévoit la construction d'une gare pour le transport de passagers et de marchandises entre Ouargla et Ain Beida.

Afin de mener à bien cette étude, une importante recherche bibliographique a été réalisée, permettant de recueillir des informations précieuses sur le sujet. Cette recherche comprend également une étude détaillée sur le phénomène d'ensablement des voies ferrées, un problème courant dans les régions désertiques comme celle de Ouargla.

Le travail comprendra également une analyse des différents composants de la voie ferrée, tels que les rails, les traverses, les ballasts, les systèmes d'électrification et de signalisation. L'objectif de cette étude est de fournir des recommandations pour optimiser la conception et la construction du tronçon ferroviaire en question, en prenant en compte les contraintes environnementales et les spécificités techniques de la région.

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Transport ferroviaire en Algérie

Le réseau ferroviaire algérien a une longueur totale d'environ 4 000 kilomètres et est géré par l'entreprise publique SNTF (Société nationale des transports ferroviaires). Le réseau est constitué de plusieurs lignes reliant les principales villes du pays, ainsi que des lignes internationales reliant l'Algérie à la Tunisie et au Maroc.

Cependant, le réseau ferroviaire algérien est considéré comme sous-développé par rapport aux standards internationaux, avec une vitesse de train moyenne relativement faible et des temps de trajet longs. De plus, la plupart des lignes sont à voie unique, ce qui limite la capacité de transport des trains.

Pour remédier à cette situation, le gouvernement algérien a lancé un programme ambitieux de modernisation et d'expansion du réseau ferroviaire, avec un budget alloué de plus de 25 milliards de dollars. Ce programme vise à construire de nouvelles lignes à grande vitesse, à moderniser les infrastructures existantes et à augmenter la capacité de transport des trains.

Parmi les projets les plus importants figurent la construction de la ligne à grande vitesse reliant Alger à Oran, ainsi que la modernisation de la ligne existante reliant Alger à Constantine et Annaba. En outre, le gouvernement envisage également de construire une ligne ferroviaire reliant le port de Bejaia au réseau ferroviaire national, afin de faciliter l'exportation des produits de la région.

En conclusion, le transport ferroviaire est un secteur clé de l'économie algérienne, avec un potentiel énorme pour stimuler la croissance économique et améliorer la connectivité du pays avec ses voisins. Le programme de modernisation et d'expansion en cours devrait permettre de développer le réseau ferroviaire algérien, avec des avantages à la fois économiques et sociaux pour la population. [1]

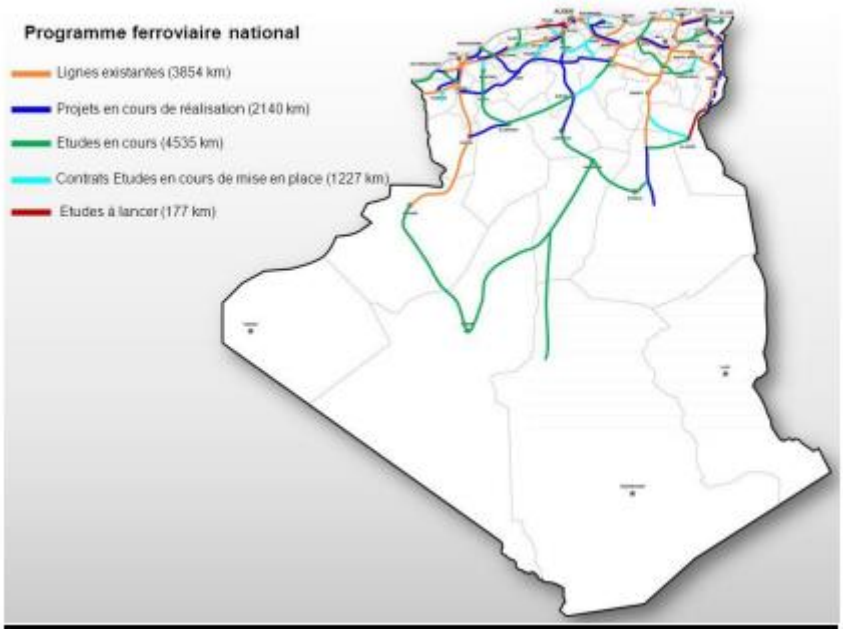


Figure I-1Réseau ferroviaire algérien actuel

I.2 L'histoire des chemins de fer d'Algérie

Le réseau ferroviaire algérien a été construit en plusieurs étapes, avec des programmes lancés par l'administration coloniale française en 1857, 1879 et 1907. La compagnie des chemins de fer algériens a été créée en 1859, mais seule la ligne Alger-Blida a été réalisée et ouverte en 1862. Entre 1857 et 1878, plusieurs lignes ont été construites, totalisant une longueur de 1365 km. Ensuite, le programme de 1879 a ajouté 1747 km de nouvelles lignes, tandis que le programme de 1907 a porté sur 1256 km de nouvelles lignes.

Après les déficits des compagnies concessionnaires, l'Etat a racheté les concessions des compagnies Franco-Algérienne, Est Algérien, Bône-Guelma et Ouest Algérien entre 1900 et 1920. En 1912, la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) a été créée pour prendre le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires. En 1938, les lignes CFAE et PLM d'intérêt général ont été rattachées à la SNCF, et le réseau algérien est devenu une région.

Depuis l'indépendance en 1962, la Société nationale des chemins de fer français en Algérie a été renommée la Société nationale des chemins de fer algériens (SNCFA) en 1963. Initialement, la SNCFA utilisait du matériel ferroviaire français, mais de nouvelles commandes de locomotives et de voitures provenant du bloc soviétique ont été ajoutées rapidement. En 1975, le Trans-Maghreb reliant Casablanca, Oran, Alger et Tunis a été inauguré, mais des problèmes politiques ont entraîné sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

En 1976, la SNCFA a été divisée en trois organismes distincts, la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'ingénierie et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF). Un nouveau programme d'investissement a permis la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

En 1986, la crise financière a conduit à la dissolution de la SNERIF et de la SIF, dont les prérogatives ont été reprises par la SNTF. Celle-ci a changé de statut en 1990 pour devenir un EPIC. À la fin des années 1990, la SNTF exploitait un réseau de 3 500 km, qui a atteint 6 300 km en 2022, avec un objectif de 12 500 km d'ici 2030.[2]



Figure I-2Des lignes de chemin de fer en Algérie depuis le début XXe siècle

I.3 . Le programme de développement des infrastructures ferroviaires

Le réseau ferroviaire de l'Algérie est de 4560 km, il connaît depuis peu une électrification au niveau de certains tronçons, ce qui doit conduire incessamment à l'installation de trains à grande vitesse qui devraient relier les villes les plus importantes du pays. Le réseau ferroviaire

est géré par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Ce réseau est doté de plus de 200 gares couvrant surtout le nord du pays dont :

- 299 km de voies électrifiés.
- 305 km de voies doubles.
- 1 085 km de voies étroites.

Parmi les projets ferroviaires en cours figurent notamment l'électrification de 1 000 km de voies ferrées, la réalisation de 3 000 km de chemins de fer. Travaux de réalisation de la ligne ferroviaire Relizane-Tiaret-Tissemsilt : Ce projet stratégique, s'étend sur 185 kilomètres et comporte la réalisation de tunnels de 4,5 km de long et des ponts longs de 11 km. 40 kilomètres ont déjà été aménagés.

L'Algérie prévoit de multiplier par 3 son réseau ferré en 15 ans, pour parvenir à 10 000 km (3 200 km actuellement) de voies ferrées. La plus grosse partie des 47 milliards de dollars réservée aux transports sera consacrée au développement du rail.aménagés. L'Algérie prévoit de multiplier par 3 son réseau ferré en 15 ans, pour parvenir à 10 000 km (3 200 km actuellement) de voies ferrées. La plus grosse partie des 47 milliards de dollars réservée aux transports sera consacrée au développement du rail.[10]

I.4 Avantages des chemins de fer

Les principaux avantages du transport ferroviaire peuvent se résumer comme suit (avantage des chemins de fer) :

Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vue les grandes vitesses atteintes dans certains pays par le TGV ;

Il permet de réaliser des réductions de consommations en hydrocarbures ;

C'est un mode de transport très économique du point de vue socio-économique ;

C'est le mode de transport le plus sécurisant par rapport aux autres modes ;

Il est moins polluant, principalement pour un réseau électrifié ;

Il permet de structurer le territoire et désenclaver les régions isolées ;

C'est un mode de transport de masse (marchandises et voyageurs) ;

- Taux d'occupation du territoire très réduit aux vues du trafic (unités trafic) comparativement aux autres modes de transport ;
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires ;
- Gain de temps, confort et sécurité ;
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

Les usagers préfèrent se déplacer en train pour les raisons mentionnées ci-dessus, ce qui a incité les gouvernements à investir dans ce mode de transport, devenu un indicateur clé du

développement d'un pays. Par ailleurs, le transport ferroviaire est économique et respectueux de l'environnement, ce qui en fait le système de transport le plus performant du siècle.[10]

I.5 L'ensablement

I.5.1 Introduction

La région d'étude fait partie du périmètre du grand erg oriental, notant que ce dernier couvre les 2/3 de la Wilaya de Ouargla. De par sa situation géographique très délicate, le vent met en mouvement d'importantes quantités de sable qui encombrent les infrastructures et particulièrement les routes et les voiries qui constituent un moyen de communication vital pour cette région. Une voie ferrée à niveau, en déblai ou en remblai, peut créer une zone locale de turbulence qui entraine des dépôts de sable éolien, parfois très importants.

A Ouargla, on trouve un paysage caractérisé par des dunes de sable peu ondulées, interrompues par des chotts. La surface du sol est partiellement très salifère et recouverte de sable de gros grains.

Les dunes considérées comme stable peuvent être « fêlées » lors des travaux de terrassement nécessaire pour la construction du tracé et devenir ainsi instable. Dans cette mesure, les déblais de terrain éventuellement nécessaires devront être exécutés à plat et il faudra prévoir des mesures de protection contre le déchargement de sable.

Le paysage à Ouargla est composé de zones protégées contre le mouvement de sable. Celles-ci sont par endroits recouvertes de pierres concassées qui les protègent contre l'ensablement.

Néanmoins, si d'autres contraintes plus impératives obligent la voie ferrée à traverser ces régions, il y a lieu de prendre certaines précautions résumées ci-dessous (Procédés de lutte contre l'ensablement).

I.5.2 Identification et maitrise du risque d'ensablement le long du tracé

La région de Ouargla, présente de vastes champs de dunes d'une largeur de plusieurs kilomètres, la crête principale se dirige dans la direction du vent.

Le tracé projeté entre Ouargla et Hassi Messaoud, traverse généralement des nappages sableux plus aux mois importants, le sable provient probablement du transit éolien prélevé des bras des ergs qui se trouve à proximité du tracé. Le tracé traverse aussi quelques dunes formées par du sable éolien qui épouse la forme du relief ou piégé dans la végétation (entre le Pk 21+900, et Pk 23+700 et Pk 30+800, Pk

Entre le Pk 21+000 et le Pk 22+000 environ le tracé est proche de l'Erg El Touil.



Figure I-3Nappage sableux

I.5.3 Action du vent sur la topographie des régions saharienne

Le vent est le facteur principal de la topographie des régions désertiques. Selon sa compétence, il modèle, façonne le paysage et trie les sédiments. Des traces multiples de l'érosion éolienne sont observées un peu partout au niveau des formations superficielles. Ces traces sont de plusieurs types : ¬ Placage éolien au niveau des versants. Les versants sous le vent sont aspergés de sable libre allochtone en transit éolien prélevé probablement des bras des ergs occidental et oriental. Au cours de sa progression, le vent s'alimente en sédiments (sables, limons, argiles) prélevés des espaces nus (ergs, dayas, plaines alluviales…). Au contact des nombreux obstacles (relief) dressés naturellement, la vitesse du vent se réduit à un point où une bonne partie de sa charge solide (sédiments) se dépose pour former des nappes de sable très hétérogènes ou des voiles sableux. Ces placages sont observés au niveau de la plupart des bassins versants.

- ✓ **Dunes vives isolées** : Cette formation éolienne est observée au niveau de certains oueds (O. Bellouh, Oued Labiod ; O. N'sa.). Ces dunes sont construites par un vent monodirectionnel compétent. Mais la présence de ces dunes n'est pas fortuite, elle résulte de l'écran végétal formé par des pieds de jujubier qui arrivent à piéger des quantités importantes de sable en transit éolien.
- ✓ **Sables de surface** : L'état de surface des sites visités montrent que la matrice sableuse est fortement représentée tant au niveau des oueds qu'au niveau des périmètres agricoles. Cette caractéristique résulte de la compétence de la dynamique fluviatile qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique. Cette compétence hydrologique a contribué négativement dans la mesure où la plupart des digues ont enregistré un volume de sédimentation impressionnable.

I.5.4 Classification des dunes

Les dunes peuvent être regroupées en trois catégories différentes :

- **Dunes fixées :** ce sont des dunes qui ont été stabilisées par une végétation ou par d'autres influences.
- **Dunes mobiles** : ce sont des dunes qui déplacent au cours de l'année en fonction de sens de l'intensité des vents en différentes directions.
- **Dunes mouvantes** : ce sont des dunes qui se déplacent continuellement dans une même direction en fonction de l'intensité et du sens du vent, la vitesse du mouvement dépend de la hauteur de la dune.

I.5.5 Critères du mouvement des dunes

Outre la force du vent, le mouvement des dunes dépend de la grandeur des grains de sable et leur assortiment. Dans le sable des dunes, les grosseurs de grain entre 0.063mm et 0.5 sont prédominantes. Des grains plus grands que 0.5mm ne sont plus transportés par des sauts successifs à cause de leur propre poids (une condition préliminaire importante pour la formation des dunes), tandis que les grains d'une grosseur inférieur à 0.063mm (limon) n'aboutissent pas à former des sédimentations en relief. Les grains d'une grosseur entre 0.063 mm et 0.25 mm sont transportés à partir de vitesses de vent d'environ 15 km/h et forment le groupe de sable mobile.

I.5.6 Déplacement de sable

- Entrainement

- Bondissements

- Suspension

La quantité relative de sable pour chacun de ces trois types dépend de la vitesse et l'inclinaison du vent, de la forme de la surface prise par le sol, de la forme et du diamètre des particules qui composent ce sol et de la viscosité cinématique de l'air

I.5.7 Procédés de lutte contre l'ensablement

I.5.7.1 Fixation de sable ou stabilisation des dunes et des sables volants

Parfois très loin de la voie ferrée pour éviter la création des dunes mouvantes (barkhanes).

Cette fixation peut être obtenue par :

- **Stabilisation chimique** : Des moyens chimiques colloïdes organiques et anorganiques, offrent une Protection temporaire contre le transport du sable Le traitement chimique de la surface des dunes de sable et des surfaces limitrophes du tracé est possible à l'aide de dispersions polymères, de polyuréthanes ou de verre solubles. Quant aux surfaces limitrophes du tracé, il serait aussi pensable de procéder à une stabilisation à l'aide de ciments rapides spéciaux.

- **Stabilisation à l'aide de produits pétrolifères** : Une stabilisation de sables de dunes par la création d'une croute en fuel lourd. La pulvérisation superficielle avec de l'huile lourde est possible dans cette région et à recommander à partir de différents points de vue, par exemple en relation avec la plantation ultérieure.

- **Plantation** : stabilisation des dunes de sables par plantation notamment des oyats si les conditions climatiques s'y prêtent.

- Stabilisation par des recouvrements face au vent (cailloux, pierrailles).

- Stabilisation par des revêtements en mailles de 2m × 2m de tresse d'herbes séchées.



Figure I-4Pin d'Alep et Cyprès vert

I.5.7.2 Création d'écrans

Ces écrans placés le long de la voie ferrée, à environ 100m de celle-ci, face au vent, créeront une zone privilégiée d'accumulation du sable, qui protègera la voie ferrée pendant un certain temps.

Ces écrans peuvent être constitués :

- De simples palissades ;

- De vieux rails dressés verticalement avec des traverses usagées ;

- De plaques de béton ;

- De merlons en sable protégés par des cailloux.

I.5.7.3 Dispositifs pour éviter l'accumulation dans la zone de la voie ferrée :

Il s'agit en fait d'éviter des zones de turbulence favorisant l'amenée de sable et son dépôt.

Le meilleur moyen est de poser la voie ferrée légèrement en remblai, en protégeant de part et d'autre par des talus de très faible pente.

La voie constitue alors un très faible obstacle et le sable ira se déposer plus loin.

Dans le cas d'une voie en déblai, sa protection est plus difficile. La création d'un écran incliné parallèle à la voie ferrée qui a pour but d'accélérer le vent, peut apporter une solution.

De toute façon, des systèmes d'évacuation du sable doivent être mis en place (main d'œuvre, engins spécialisés) pour nettoyer la voie périodiquement.

I.5.7.4 Désensablement

L'opération de désensablement quand elle est possible reste la meilleure de tous les procédés de lutte mécanique. Cependant, les menaces renouvelables de ce phénomène naturel défient la majorité des méthodes et techniques de désensablement utilisées seules.

On distingue quatre procédés principaux d'évacuation de sable pratiqués pour protéger les différents objectifs menacés à savoir : le désensablement manuel et mécanique, le désensablement par le vent, le désensablement par l'eau et le désensablement par la méthode de fossés de transfert.de transit et déflation, muret aérodynamique…

Tableau I-1 : principaux d'évacuation de sable

Technique	Matériaux	
Palissades	Palmes Branchage Résidus de tournesol Fibrociment	

Quadrillage	Palmes (Phoenix dactylifera) alfa (Stipa tenacissima) résidus de tournesol Mailles en plastiques	
Mulching	Branchages rétam (Retama raetam) paille de riz argile pneus usagés film	
Fixation biologique	Haies végétale	

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction

Le programme de développement du réseau ferroviaire algérien, mis en place par l'Agence Nationale d'Etude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF), comprend la construction de la Boucle Sud, avec une section appelée la "boucle Sud-Est". Cette boucle s'étend sur une distance totale de 540 km et dessert les wilayas (provinces) de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla, Touggourt et El-Oued.

La Boucle Sud-Est comprend quatre lignes principales qui relient ces wilayas. Ces lignes permettent à la fois le développement économique de la région et le désenclavement des villes du Sud de l'Algérie. Les trains de voyageurs peuvent circuler à une vitesse maximale de 220 km/h, ce qui permet des déplacements rapides et efficaces entre les différentes wilayas. Quant aux trains de transport de marchandises, leur vitesse est limitée à 100 km/h.

Ce programme de développement ferroviaire vise à améliorer les infrastructures de transport en Algérie, à renforcer l'accessibilité des régions du Sud et à favoriser le développement économique de ces zones. En reliant les wilayas de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla, Touggourt et El-Oued, il contribue à désenclaver ces régions en facilitant les échanges commerciaux et les déplacements des populations locales.

II.2 Situation et description du projet

La ligne Ouargla-Hassi Messaoud a un linéaire de 80 Km, démarre de la gare de Ouargla, et prendre fin au niveau de la future gare Marchandises de la nouvelle ville Hassi Messaoud en assurant la continuité du projet Touggourt-Hassi Messaoud. Partant de la gare de Ouargla située au Sud de la ville, contourne l'aéroport de Ouargla au Sud puis croise l'autoroute RN49 au PK 21+700 en continuant parallèlement à la RN56, jusqu'à la déviation de notre tracé par rapport à ladite RN56 au niveau du PK 51+500 pour joindre la ligne Hassi Messaoud Touggourt au niveau de la gare de marchandise « de la nouvelle ville de Hassi Messaoud » toute en croisant la RN 03 au niveau du PK 79+000

Le tronçon de notre projet concernant l'étude de la ligne ferroviaire entre Ouargla et Hassi Messaoud sur une longueur de 13km du (PK 19+000 au PK 32+000) est situé dans la wilaya d'Ouargla.

II.3 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au Sud-Est Algérien, dans la Wilaya de Ouargla, qui se trouve à environ 128 m d'altitude. Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle se situe, approximativement, à 750 km au Sud d'Alger. Cette zone est limitée :

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued
- A l'Est, par la wilaya d'El Oued et les frontières tunisiennes
- A l'Ouest, par la wilaya de Ghardaïa
- Au Sud, par les wilayas d'Illizi et Tamanrasset.

Appartenant au grand bassin du Sahara septentrional, la ville de Ouargla est située dans une cuvette (dépression), s'étalant sur une superficie totale de 900 km², allongée sur une longueur De 55 km. Le tracé objet de cette étude traverse les agglomérations suivantes : Ouargla ; Rouissat ; Sidi Khouiled ; Ain El Beida ; Hassi Ben Abdellah ; Ain El Beida

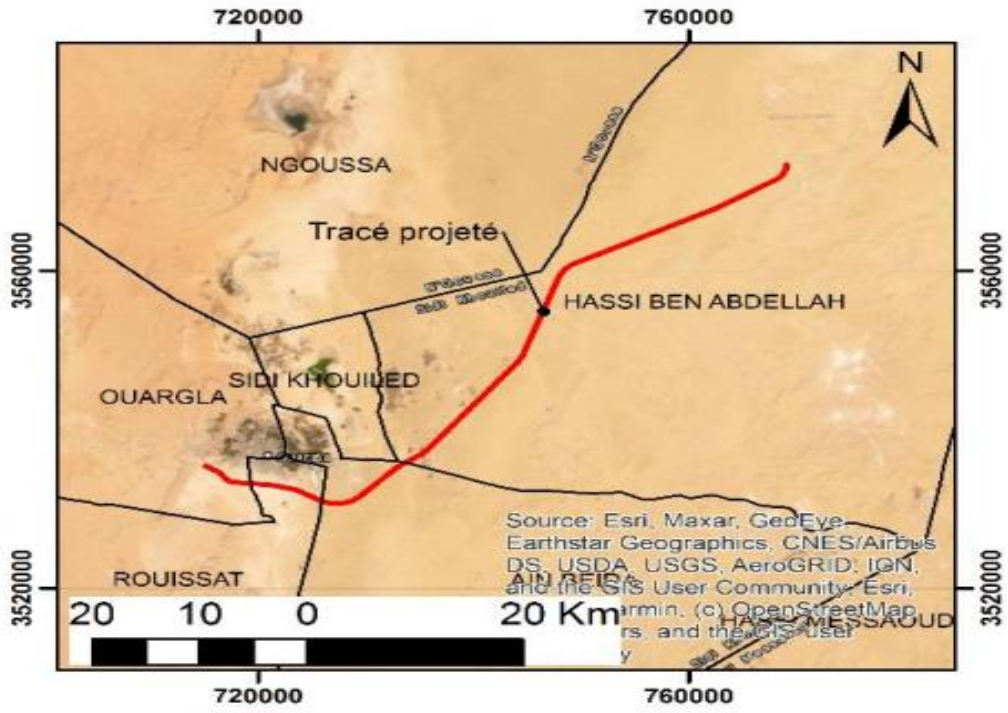


Figure II-1: Situation géographique de la zone d'étude

II.4 Relief

Le tracé prévu pour la nouvelle ligne Hassi-Messaoud - Ouargla suit une direction générale Nord-Est - Sud-Ouest et traverse les formations Quaternaires de la cuvette de Ouargla. Ces formations se caractérisent par des terrains généralement plats, uniformes et vierges. Ils sont recouverts de sable et présentent quelques dunes (Reg) qui se sont formées dans certaines zones du tracé

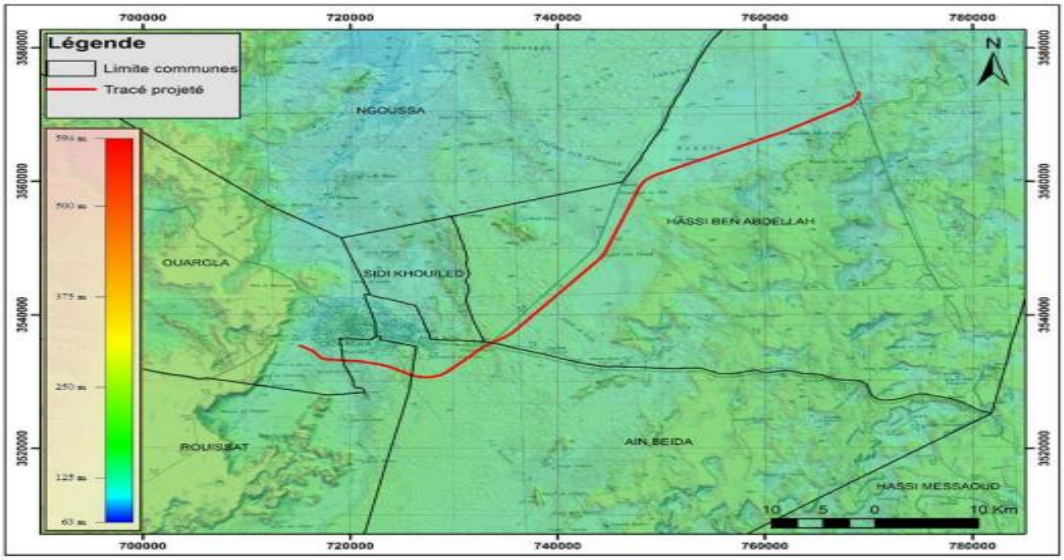


Figure II-2: Ensemble morphologique de la zone d'étude

II.5 Caractéristique de notre projet

- Ligne à voie unique électrifiée d'une longueur d'environ 13km

- Vitesse maximale 220 km/h pour les trains voyageurs et 100 km/h pour les trains marchandises
- Type de rail : Rail UIC60 E1
- Type de traverse : Monobloc et Bibloc dans la gare
- Ecartement de la voie (standard) :1.435 m
- Pente maximum autorisée 16 ‰
- Devers maximum autorisée : 160 mm
- Électrification en 25 KV / 50 Hz.
- Charges à l'essieu pour la superstructure de 22.5 tonnes.
- Entraxe des voies principales : 4.2 m

II.5.1 LES OBJECTIFS DU PROJET

- ✓ Désenclavement des villes du Sud.
- ✓ Augmenter la part du transport ferroviaire dans cette région.
- ✓ Développement socio-économique des zones traversées.
- ✓ Le développement des zones industrielles, et transport des marchandises.
- ✓ Transport rapide en toute sécurité et confort. « Du Sud au Nord ».

II.5.2 Les ouvrages de notre projet

Le tracé de la nouvelle ligne Hassi-Messaoud - Ouargla présente peu de contraintes en termes de relief, car il est généralement plat. De plus, il y a peu d'infrastructures existantes le long de ce tracé. Et sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau II-1 : Présentation du type d'ouvrage

N°	PK	Type d'ouvrage
1	**19+100**	**Gare Ain Beida**
2	**21+690**	**Passage Supérieur**
3	**24+012**	**Protection pipe**
4	**24+942**	**Passage Supérieur**
5	**27+715**	**Passage Supérieur**
6	**29+567**	**Passage Supérieur**

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 Introduction

Pour que les trains puissent rouler en toute sécurité, il est essentiel que la voie ferrée soit construite avec des matériaux solides et durables. Les constituants de la voie ferrée comprennent les rails, les traverses, le ballast, les attaches, les éclisses, les plaques tournantes et les aiguillages. Chacun de ces éléments a une fonction spécifique et contribue à la stabilité de la voie ferrée. Par exemple, les traverses servent de support aux rails et sont fixées au ballast pour empêcher le tassement du sol. Les attaches permettent de fixer les rails aux traverses, tandis que les éclisses relient deux rails entre eux. Les plaques tournantes et les aiguillages permettent aux trains de changer de direction sur une voie ferrée. En somme, tous ces constituants sont nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de la voie ferrée et garantir la sécurité des passagers et du personnel ferroviaire

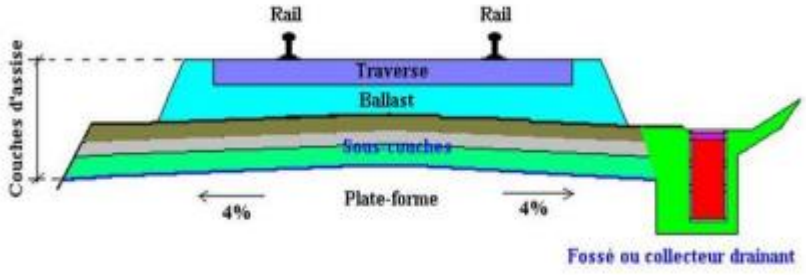


Figure III-1: Superstructure d'une voie.

III.2 La voie

Dans le domaine du transport ferroviaire, la voie se réfère à tous les éléments qui permettent la circulation des trains en supportant les forces transversales, longitudinales et verticales résultant de l'interaction entre les rails et les essieux des véhicules. Ce qui distingue principalement le chemin de fer, c'est son système de guidage mécanique, où les véhicules roulent sur des rails en acier, offrant ainsi une résistance minimale à l'avancement.

III.2.1 Les composantes de la voie

III.2.2 Les rails

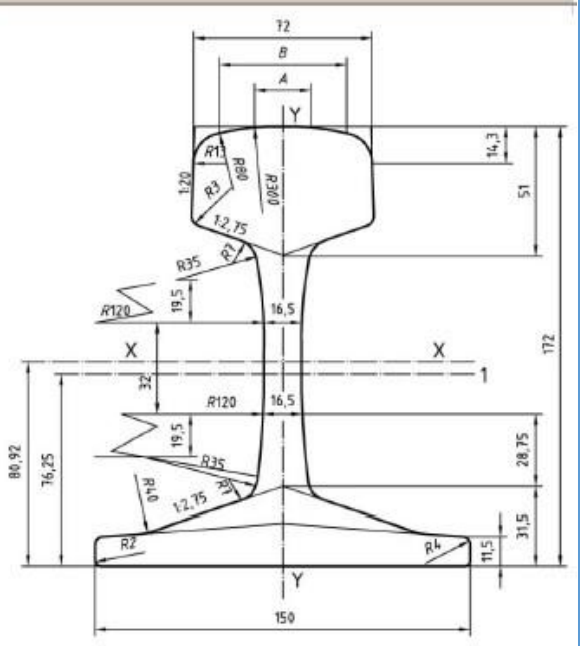
C'est l'élément qui se trouve en contact avec l'engin roulant. Les rails servent de guide et de support de roulement pour les véhicules ferroviaires. C'est une longue barre d'acier profilée, qui est mise bout à bout pour former le chemin de fer.

Il existe trois types de rails :

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

Le rail utilisé sera du type 60E1 (60,21 kg/m). La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la norme EN 13674-1 (Rails vignol de masse ≥ 46 kg/m). Les caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 sont comme suit :

Tableau III-1: Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristiques	Valeur	Profil rail du type UIC 60 E1
Masse par mètre	60,21 kg/m	
Surface de la section	76,70 cm²	
Hauteur du rail	172 mm	
Largeur du champignon	72 mm	
Largeur du patin	150 mm	
Moment d'inertie (Axe X – X)	3038,3 cm4	
Moment d'inertie (Axe- Y-Y)	512,3 cm4	
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm²	
Allongement	A ≥ 10%	
Dureté au milieu de la table de roulement	260 ~ 300 HBW	

- Longueur minimum des barres élémentaires : 36 m,
- En atelier : barres élémentaires soudées électriquement en barre continue pour unelongueur supérieure ou égale à 288m,
- In situ (en voie) : soudure aluminothermique.

III.2.3 L'écartement des rails

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rail d'une voie ferrée, l'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie (Normale). Il est me suré entre les deux joues internes du champignon de rail : e Avec (e = 1435mm).

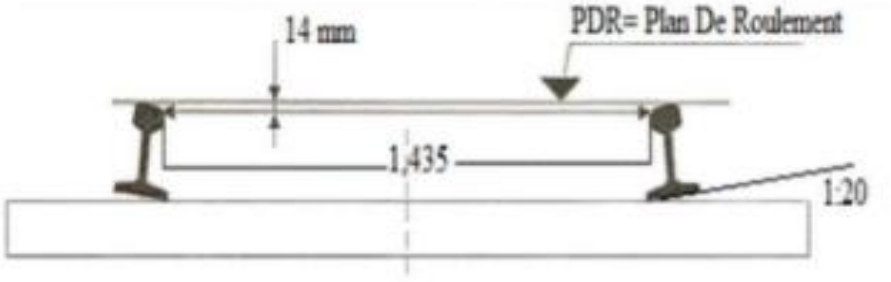


Figure III-2: Ecartement des rails

III.2.4 Travers

La traverse, étant un élément fondamental de la voie ferrée, fixe solidement les rails dans une position prévue. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

Types de traverse en béton

- **La traverse bi bloc :** Formées de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.

- **La traverse mono bloc :** formée en un seul bloc En béton précontraint, amincie dans sa partie centrale, armée de fils à haute résistance.



Figure III-3: Traverse en BA

III.2.5 Les Attaches

L'attache de rail est un des composants qui assure que les deux rails soient bien fixés au traverse et enfin au sol. L'attache de rail gère les mouvements de rail générés par les charges ou vibrations des véhicules circulant sur les rails et transmet ces charges ou vibrations aux traverses, au ballast et à la plateforme.

Des attaches élastiques seront employées de manière à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache élastique vissée de type « ressort à lame (ressort à lame + boulon d'attache) », ou une attache élastique clipssée de type « ressort en fil, e-clip » dont le ressort est fixé par emboitement à force dans une selle fixée à la traverse.



Figure III-4: Les Attaches

Caractéristiques et type d'installation pour notre projet :

Tableau III-2: Caractéristiques et type d'installation pour notre projet

Désignation	**Spécifications**
Rails	**UIC 60 E1**
Ecartement des rails	**1435mm**
Traverses	**Monobloc et Bibloc**
Attache	**Type de ressort à lame**

III.3 Conclusion

Le choix des éléments de la voie est probablement la partie la plus importante, c'est elle qui définira le choix de conception mariant sécurité et économie, l'optimisation économique de notre projet reposera donc principalement sur le choix des appareils constituants la voie.

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV. TRACE EN PLAN

IV.1 Introduction

L'étude géométrique d'un tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de chercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement.

En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

Vr **:** vitesse des trains rapides (voyageurs).

Vl : vitesse des trains lents (marchandises).

IV.2 Critère de limitation des paramètres de trace en plan

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie.

Les valeurs limites suivantes ont été définies :

- **Valeur limite normale :** valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux

Vitesses maximales ou minimales admissibles.

- **Valeur limite exceptionnelle :** c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite

Normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles.

IV.3 Normes et paramètres de conception géométrique :

Dans notre projet, la ligne est conçue comme Ligne de Grande vitesse (LGV) sur voie normale, avec des caractéristiques géométriques selon les normes techniques ferroviaires de l'UIC et les recommandations de la SNTF

IV.3.1 Paramètres de conception :

Les paramètres, pour lesquels le respect de ces valeurs garantit le confort et la sécurité ainsi

Que l'optimisation du coût de maintenance, sont les suivants :

- ✓ Le dévers et sa variation
- ✓ L'insuffisance de dévers et sa variation
- ✓ L'excès de dévers
- ✓ Le rayon minimum en plan
- ✓ La longueur des raccordements

IV.4 Règles à respecter de tracé en plan selon la SNTF :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- ➢ Assurer la sécurité et le confort des usagers

- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques
- Éviter le maximum le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible
- Utiliser le maximum d'alignements droit et entre deux courbes la longueur minimale est de Lmin =0.5V (km/h) et supérieure à 30m.
- Respecté Le rayon et les longueurs minimum recommandé par la SNTF.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les terrassements.
- Eviter les problèmes des talus :

Talus en déblais : Evité :

- Présence de nappe.
- Terrains plastiques.
- Présence de roches fissurées.

Talus en remblais : Eviter :

- Présence de terrain instable (pouvant être mis en Mouvement par le remblai).
- Sol très compressible.

Assurer la stabilité de l'ouvrage (remblais/ déblais)

IV.5 Trace en plan

Un tracé ferroviaire en plan est constitué de tronçons en alignement et de tronçons de courbes circulaires, entre lesquels il faut généralement intercaler des courbes de raccordement. Ces courbes de raccordement ont une courbure progressive pour permettre de réduire les chocs

IV.5.1 Les éléments de la trace en plan

- **Alignement**

Parmi les éléments du tracé en plan, l'alignement est le plus simple et le plus favorable à l'exploitation.

- **L'arc de cercle**

Les rayons minimaux des courbes circulaires sont essentiellement imposés par la vitesse de circulation des véhicules ou plutôt par la force centrifuge qui lui est liée.

- **La courbe de raccordement**

Le raccordement entre l'alignement droit et le cercle de raccordement doit être fait avec des courbes de raccordement progressives. La courbe de raccordement la plus utilisée est la clothoïde dont la courbure est proportionnelle à l'abscisse curviligne ; dont sa nomination comme courbe curviligne.

On utilise ce type de raccordement afin de :

- ✓ Introduire progressivement le devers.
- ✓ Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
- ✓ Respecter les conditions du confort et de sécurité.



Figure IV-1 : Eléments de tracé en plan

❖ **Le rayon minimal**

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants. Le rayon minimal est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rmin} = \frac{11{,}8(v_{max})^2}{I+D}$$

❖ **Dévers**

Au cours de sa circulation, chaque véhicule est soumis aux actions d'un certain nombre d'efforts extérieurs, on note en particulier la force centrifuge qu'on a donc cherché à faire équilibrer, au moins en grande partie, la force centrifuge par la réaction de la voie elle-même et pour le faire il est nécessaire de disposer les 2 rails de la voie à des niveaux différents, C'est-àdire de déverser la voie. Ce déversement de la voie est appelé « devers »

❖ **La longueur de courbe de raccordement (clothoïde) :**

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, aussi bien en plan qu'en profil. Une variation progressive est nécessaire tant pour le confort du voyageur que pour le transport des marchandises et pour l'inscription et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importance

$$L \geq \text{dp} / 3.6 \, (dd/dt) \, \text{rec}$$

dp : Dévers pratique en (mm).

(dd/dt) rec : Valeur limitée de variation de dévers en fonction du temps (mm/s)

Vmax : vitesse rapide en (km/h)

Le paramètre de clothoïde (A) est calculé selon l'équation suivante : $A=\sqrt{RxL}$

IV.6 Récapitulatif des valeurs limites de paramètres d'axe

Vitesse des trains maximale :

Vitesse voyageurs : **Vv 220 km/h**

Vitesse marchandises : **Vm 100km/h**

Tableau IV-1:Récapitulatif des valeurs limites de paramètres d'axe

	Formule		**Application**	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Dévers maximal d(mm)	-	-	**160**	**180**
$Rmin = \frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	$\frac{11.8xVmax2}{dmax+Imax}$	**1842**	**1680**
Longueurs minimales des alignements (m)	$\frac{\mathbf{Vmax}}{2}$	$\frac{\mathbf{Vmax}}{3}$	**110**	**73**
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{\mathbf{Vmax}}{2}$	$\frac{\mathbf{Vmax}}{3}$	**110**	**73**
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	-	-	**150**	**160**
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	**110**	**130**
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur dd/dl (mm/m)	$\frac{180}{\mathbf{V}max}$	$\frac{216}{\mathbf{V}max}$	**0,818**	**0,982**
Limite de la variation d'insuffisance de dévers dI/dl (mm/s)	-	-	**75**	**90**

IV.7 Application au projet :

Notre projet qui relie OURGLA- HASSI débute au Pk19+000 jusqu'au Pk 32+000 Avec une longueur d'environ de 13km.

Le tracé commence en ligne droite à l'entrée de la gare de AIN BEIDA, il se développe dans une extension de 13000 mètres et comprend 2 courbes horizontales avec des rayons de 3000m.

Selon la SNTF et pour une vitesse de 220km/h, le rayon minimal normale est de 1842m, donc Tous les rayons du notre tracé doivent être supérieure au Rmin=1842m.

On prend un exemple de calcul pour un rayon de 3000m pour juste illustrer les différentes étapes de calcul pour la détermination des divers et les différents paramètres du tracé en plan, et on va faire ensuite un tableau récapitulatif englobant toutes les caractéristiques géométriques de notre tracé

Application au projet pour R = 3000 m :

- ✓ **Dévers théorique :** **dth** $=\frac{11.8Vmax^2}{R}=\frac{11.8\ x\ 220^2}{3000}$=190.37 mm

- ✓ **Le coefficient de dévers :** **C = 0.006×$Vmax^2$** = 290.4**0**

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

$0,5<\frac{C}{0.0118Vmax^2}<0.7$

Alors dans ce cas on prend c= 300.

- ✓ **Le dévers pratique :** Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des

Trains lents, elle est donnée par **:** $\boldsymbol{dP}=1000\times\frac{C}{R}=1000\times\frac{300}{3000}$ =100 mm

Ce dernier ne doit pas dépasser la limite qui est de 160 (180mm exceptionnelle).

- ✓ **Insuffisance de dévers :** $I = \boldsymbol{dth} - \boldsymbol{dp}$ = 190.37 – 120 = 70.37 *mm.*

- ✓ **Excès de dévers :** $\boldsymbol{E} = \boldsymbol{dp} -$ **dth =**120 $-\frac{11.8\times100^2}{3000}$ **=** 80.67*m*m.

- ✓ **La longueur de clothoïde :** **Lrp =** $\frac{\boldsymbol{dp}}{\frac{\boldsymbol{dd}}{\boldsymbol{dl}}}=\frac{120}{\frac{180}{\boldsymbol{Vmax}}}=\frac{120}{0.818}$ =147.67 m

On prend Lrp =150m

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

$\frac{\boldsymbol{dd}}{\boldsymbol{dl}}=\frac{120}{150}$ **= 0.8** mm/m

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

$\frac{\boldsymbol{dI}}{\boldsymbol{dt}}=\frac{\boldsymbol{dI}}{\boldsymbol{lrp}}\times\frac{\boldsymbol{Vmax}}{3.6}=\frac{70.37\times220}{150\times3.6}$ = 28.67 mm/s

Dans le tableau suivant sont présentées le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve pour le tracé surplan du tronçon d'étude :

Tableau IV-2:Les résultats de calcul pour notre axe en plan

Rayon (m)	Vitesse KM/H		dth (mm)	dp (mm)	dp adopté	I (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dI/dt (mm/s)
	Voy	Mar									
-	-	-	$\frac{11.8xVmax2}{R}$	1000x(C/R)	-	dth-dp	$dp - \frac{11.8xVmin2}{R}$	dp/dd/dL	-	dp/Lrp	(I*Vmax) / (100*3,6)
R1 3000	220	100	190,37	100,00	120	70,37	80,67	147,67	150	0,80	28,67
R2 3000	220	100	190,37	100,00	120	70,37	80,67	147,67	150	0,80	28,67

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	48.18gr	1843,389	19+000.000	731561,047	3533806,853
Clothoïde 1	Paramètre	-670,820	150,000	20+843.389	732826,757	3535147,025
Arc 1	Rayon	-3000.000 m	439,296	20+993.389	732930,652	3535255,212
	Centre X	735059.526 m				
	Centre Y	3533141.472 m				
Clothoïde 2	Paramètre	670,820	150,000	21+432.685	733261,850	3535543,213
Droite 2	Gisement	60.69gr	2046,856	21+582.685	733383,415	3535631,081
Clothoïde 3	Paramètre	670,820	150,000	23+629.541	735052,236	3536816,263
Arc 2	Rayon	3000.000 m	762,769	23+779.541	735173,801	3536904,130
	Centre X	733376.125 m				
	Centre Y	3539305.872 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-670,820	150,000	24+542.310	735720,106	3537433,506
Droite 3	Gisement	41.32gr	7305,766	24+692.310	735811,756	3537552,246
				31+998.076	740227,328	3543372,636
Longueur totale de l'axe 12998.076 mètre(s)						

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V. PROFIL EN LONG

V.1 Introduction :

Le profil en long est un des trois éléments géométriques d'une route ou d'une voie ferrée, c'est d'ailleurs le plus important vu qu'il représente la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical.

Le profil inclut les diverses structures telles que les déblais, les remblais, les terrassements et autres ouvrages qui seront présents le long de la voie. Il est crucial d'assurer une coordination technique entre le profil et le tracé en plan, en considérant des critères tels que la variation de la pente ou l'emplacement des gares.

Il nous présentera chaque partie du projet avec les caractéristiques suivantes :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude de projet.
- La déclivité du projet ainsi que les distances partielles et cumulées.
- La géométrie verticale et horizontale.

V.2 Définition :

V.2.1 Profil en long du terrain naturel :

C'est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical le Long du tracé en plan, ce profil va être le support pour le profil en long du projet.

V.2.2 Profil en long Du Projet :

C'est la représentation de l'allure du projet, en général le tracé d'une voie ferrée en profile Est constitué par une succession d'alignement droits raccordé par des courbes circulaires.

V.2.3 Déclivité :

On appelle déclivité la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle Prend le nom de pente pour une descente et rampe pour une monte.

V.3 Eléments géométriques du profil en long :

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

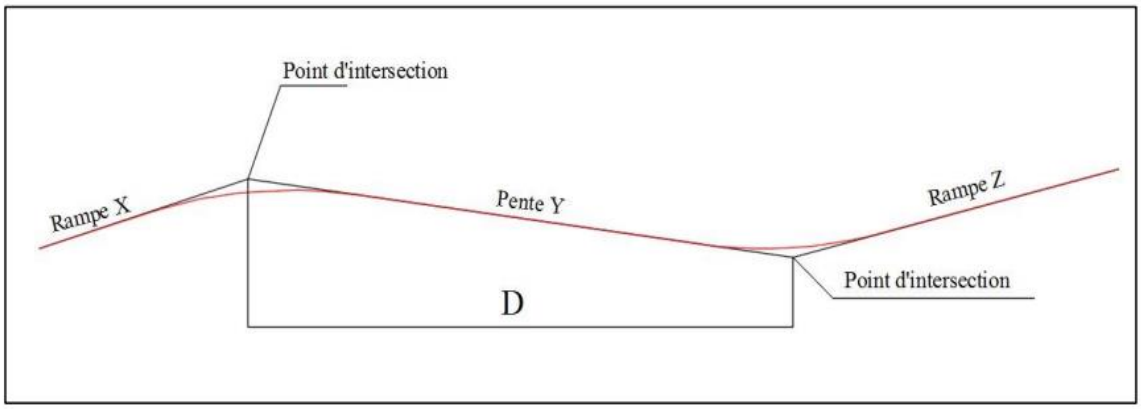


Figure V-1: Eléments géométriques du profil en long.

V.3.1 Choix des alignements droits :

Le profile en long de la voie ferre est caractérisé par des valeurs très faible de déclivités pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente est confort au démarrage de véhicule en rampe, donc la déclivité des droites ne peut pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF

D'autre part, on emploie un palier de longueur supérieur à 2000m pour l'implantation de la gare de AIN BEIDA, on adopte en générale les déclivités maximales suivantes :

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

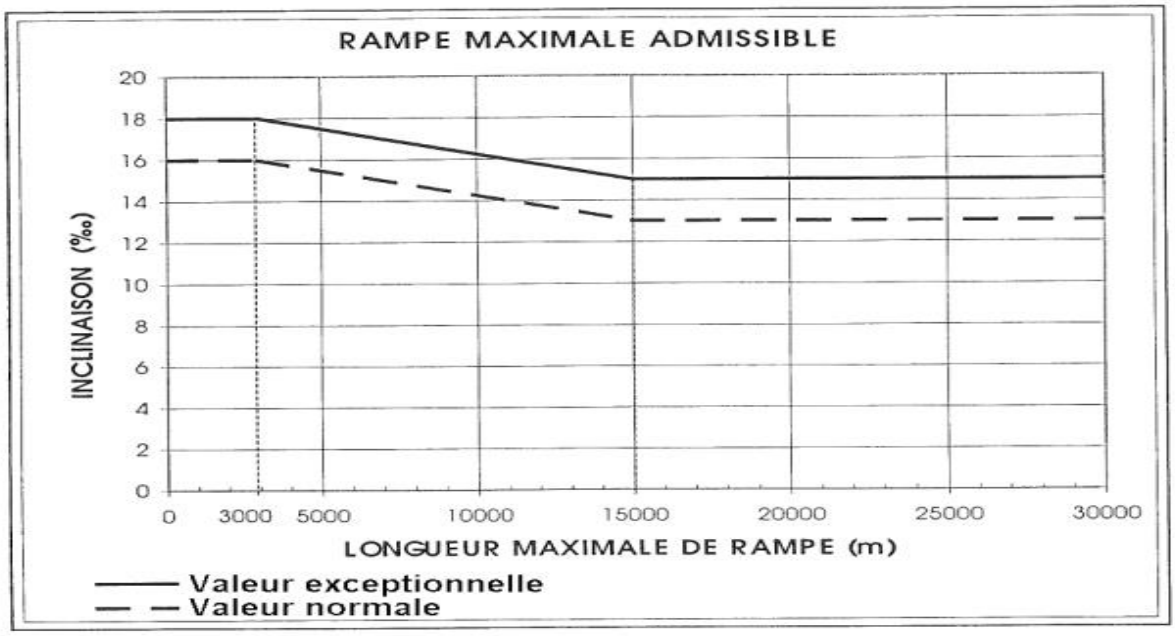


Figure V-2 : Valeurs limites d'inclinaison en fonction des longueurs de rampe

V.3.2 Règles à respecter dans la trace du profil en long :

Pour faire un bon tracé de projet plusieurs conditions doivent être prises en

- ✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- ✓ Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par les règlements. Assurer l'évacuation des eaux pluviales pour les points bas.
- ✓ Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux.
- ✓ Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais.
- ✓ Eviter une hauteur excessive en remblai et en déblai.

V.3.3 Longueur minimale des éléments du profil en long :

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importante aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.

Afin d'éviter ces oscillations des véhicules, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir. D'après la norme SNTF chapitre « 06 », Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau V-1 : Limites des valeurs de la longueur minimale des déclivités constantes

Valeurs minimale normale (m)	V/2 = 220 /2= 110
Valeur minimale exceptionnelle (m)	V/2.5 = 220 /2.5 = 88

V.3.4 LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise. Selon l'UIC le rayon minimal des courbes de raccordement ne doit pas être inférieur à 2000m. Selon la SNTF le rayon minimal se calcule suivant le tableau ci-dessous :

Tableau V-2: Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

Valeur normale	$0.35V^2$ =16940
Valeur exceptionnelle	$0.25V^2$=12100

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

- ✓ Il ne doit pas y avoir d'interférence entres les courbes de transition en plans (Clothoïde) et les courbe de raccordement en profil en long

- ✓ Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe

Pour le cas de projet :

- ✓ Le rayon vertical minimum est Rv min = 0.35× V2 = 0.35 ×2202 = 16940m.
- ✓ La longueur minimale normale des déclivités est **220**/ **2** = 110 m.

D'où les paramètre de notre profil en long comme suit :

Tableau V-3: paramètre profil en long

Paramètre	Valeur limite normale
La vitesse en (km/h)	220
Rayon vertical minimum de raccordement en profil (m)	16940
Longueurs minimales des déclivités en (m)	110
Déclivité maximum en pleine voie	16‰
Déclivité maximum en gare	**0**‰

V.4 Les contraintes le long du tracé :

- ✓ Lignes d'électricités de moyen tension (MT) au PK 19+243 et PK au 20+396 et Au PK 21+362 et PK 21+537 et PK 22+537 et au PK 24+975.
- ✓ Rétablissements piste passage supérieur PK 21+690 et PK24+492 au PK 27+715 et au PK 29+42.
- ✓ Conduites de gaz au PK 24+012

V.5 Conclusion :

On peut conclure que La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.00 %	2160,174	19+000.000	159,072
Cercle 1	Rayon	-45000.000 m	120,243	21+160.174	159,072
	Sommet Absc.	21+160.174 m			
	Sommet Alt.	159.072 m			
Pente 2	Pente	-0.27 %	775,462	21+280.417	158,911
Cercle 2	Rayon	25000.000 m	124,501	22+055.878	156,839
	Sommet Absc.	22+122.680 m			
	Sommet Alt.	156.750 m			
Pente 3	Pente	0.23 %	140,253	22+180.379	156,817
Cercle 3	Rayon	-20000.000 m	130,785	22+320.632	157,140
	Sommet Absc.	22+366.791 m			
	Sommet Alt.	157.194 m			
Pente 4	Pente	-0.42 %	238,335	22+451.417	157,015
Pente 5	Pente	-0.51 %	403,033	22+689.752	156,006
Cercle 4	Rayon	30000.000 m	170,279	23+092.785	153,943
	Sommet Absc.	23+246.321 m			
	Sommet Alt.	153.551 m			
Pente 6	Pente	0.06 %	880,123	23+263.064	153,555
Cercle 5	Rayon	-30000.000 m	271,031	24+143.187	154,046
	Sommet Absc.	24+159.930 m			
	Sommet Alt.	154.051 m			
Pente 7	Pente	-0.85 %	298,141	24+414.218	152,973
Cercle 6	Rayon	20000.000 m	197,076	24+712.359	150,446
	Sommet Absc.	24+881.884 m			
	Sommet Alt.	149.728 m			
Pente 8	Pente	0.14 %	474,282	24+909.435	149,747
Cercle 7	Rayon	-40000.000 m	174,023	25+383.717	150,400
	Sommet Absc.	25+438.818 m			
	Sommet Alt.	150.438 m			
Pente 9	Pente	-0.30 %	644,341	25+557.740	150,261
Cercle 8	Rayon	40000.000 m	229,114	26+202.081	148,346
	Sommet Absc.	26+321.004 m			
	Sommet Alt.	148.169 m			
Pente 10	Pente	0.28 %	822,654	26+431.196	148,321
Cercle 9	Rayon	-40000.000 m	242,843	27+253.849	150,587
	Sommet Absc.	27+364.041 m			
	Sommet Alt.	150.739 m			
Pente 11	Pente	-0.33 %	280,519	27+496.692	150,519
Cercle 10	Rayon	40000.000 m	219,357	27+777.212	149,588
	Sommet Absc.	27+909.863 m			
	Sommet Alt.	149.368 m			
Pente 12	Pente	0.22 %	189,351	27+996.568	149,462
Cercle 11	Rayon	-25000.000 m	280,652	28+185.919	149,873
	Sommet Absc.	28+240.110 m			
	Sommet Alt.	149.932 m			
Pente 13	Pente	-0.91 %	157,540	28+466.571	148,906

Cercle 12	Rayon	20000.000 m	222,334	28+624.111	147,479
	Sommet Absc.	28+805.281 m			
	Sommet Alt.	146.658 m			
Pente 14	Pente	0.21 %	607,447	28+846.445	146,700
Cercle 13	Rayon	-40000.000 m	212,668	29+453.892	147,951
	Sommet Absc.	29+536.220 m			
	Sommet Alt.	148.035 m			
Pente 15	Pente	-0.33 %	260,048	29+666.560	147,823
Cercle 14	Rayon	40000.000 m	281,035	29+926.608	146,976
	Sommet Absc.	30+056.948 m			
	Sommet Alt.	146.763 m			
Pente 16	Pente	0.38 %	779,770	30+207.643	147,047
Cercle 15	Rayon	-40000.000 m	285,873	30+987.413	149,985
	Sommet Absc.	31+138.108 m			
	Sommet Alt.	150.269 m			
Pente 17	Pente	-0.34 %	303,330	31+273.286	150,040
Cercle 16	Rayon	40000.000 m	154,036	31+576.616	149,015
	Sommet Absc.	31+711.793 m			
	Sommet Alt.	148.787 m			
Pente 18	Pente	0.05 %	267,425	31+730.651	148,791
				31+998.076	148,917
Longueur totale de l'axe 12998.076 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 12998.137 mètre(s)					

CHAPITREVI : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VI. ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VI.1 INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques géologiques de la zone de projet, et avoir une connaissance précise sur le sous-sol, sa composition et son comportement.

Nous allons donc procéder à différents carottages et étude géotechnique que ce soit in situ ou en laboratoire afin de définir réellement les caractéristiques de notre terrain. Nous commencerons bien évidemment par l'étude géologique qui se basera principalement sur l'étude historique du site

VI.2 ÉTUDE GEOLOGIQUE :

VI.2.1 Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude est située au Sud-Est Algérien, dans la Wilaya de Ouargla, qui se trouve à environ 128 m d'altitude. Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle se situe, approximativement, à 750 km au Sud d'Alger.

Appartenant au grand bassin du Sahara septentrional, la ville de Ouargla est située dans une cuvette (dépression), s'étalant sur une superficie totale de 900 km², allongée sur une longueur de 55 km. Le tracé objet de cette étude traverse les agglomérations suivantes : Ouargla ; Rouissat ; Sidi Khouiled ; Ain El Beida ; Hassi Ben Abdellah.

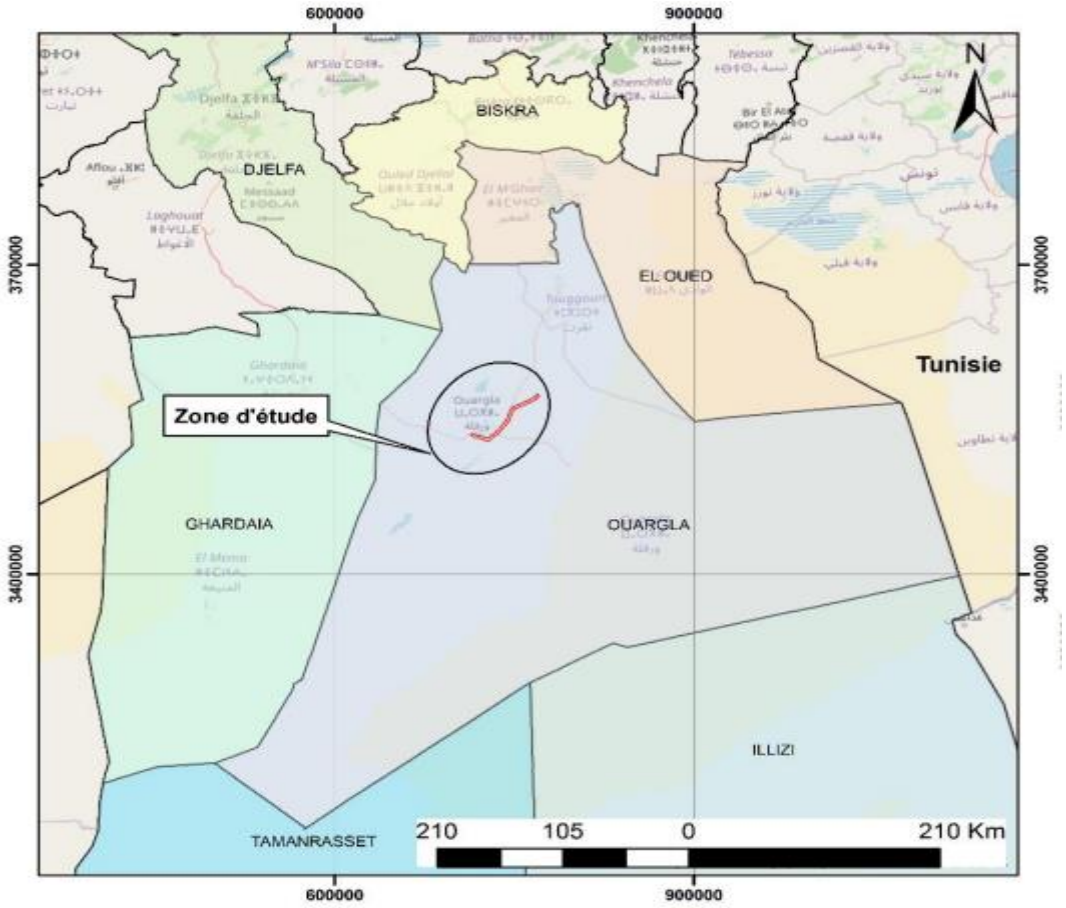


Figure VI-1: Situation géographique de la zone d'étude (Superposition de tables : Open Street Mapp, limites wilayas et limites communes)

VI.2.2 CADRE GEOLOGIQUE :

Géologiquement, la région d'Ouargla fait partie de la dalle saharienne, vaste plate-forme sans déformations notable depuis les temps hercyniens.

Dans cette région, seules les formations mio-pliocènes affleurent. Elles sont recouvertes, par endroits, par une faible épaisseur de dépôts quaternaires, représentés par des Ergs et Dunes (fig.2). Formé par un niveau argilo-gréseux, à la base, qui se présente comme une croûte ancienne. Le niveau superficiel est constitué de sables éoliens, parfois gypseux, et de produits de remaniement des terrains du Mio-Pliocène.

Les sondages superficiels, effectués dans différentes localités de la cuvette d'Ouargla, ont rencontré les ensembles suivants :

- ✓ Sur le plateau : le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique (altération des grès à sables rouge du Mio-Pliocène). C'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région. De 20 à 70 cm de la surface, le sol est sableux à graviers.

- ✓ Sur les chotts et les terrains intermédiaires : on a une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre, partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux (à végétations gypso-halophiles).

- ✓ Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux. Les dunes sont formées de sable éolien d'origine gréseux (provenant de la hamada du Mio-Pliocène). Elles existent dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhas et sur les versants rocheux.

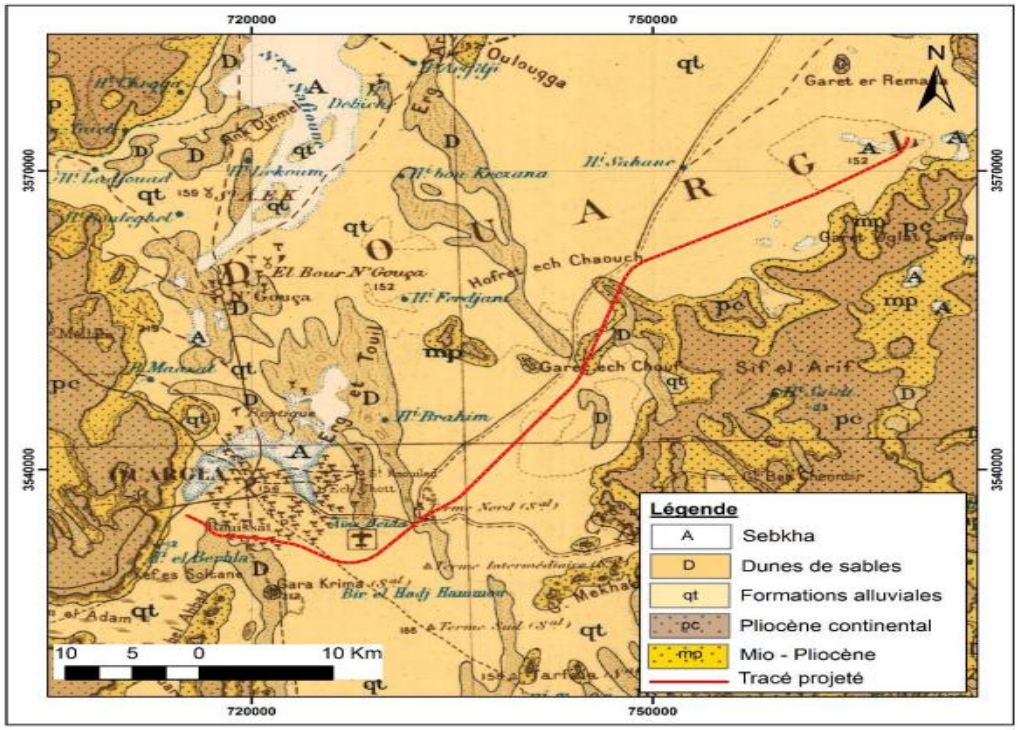


Figure VI-2 : Carte géologique de la zone d'étude (carte géologique de l'Algérie 1/500 000)

VI.2.3 Sectorisation géologique :

La zone du tracé appartient à la cuvette de Ouargla qui est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène, recouverte de formations Quaternaires constituées d'un matériel alluvial et éolien, contenant des évaporites et surmonté par des couches sableuses et argilo-sableuses.

Le tracé projeté traverse essentiellement les formations Quaternaire et Mio-Pliocène, constituées de :

- ❖ Grès, sables graveleux et argiles, du mio-pliocène ;
- ❖ Formations Quaternaire caractérisées par deux niveaux :
  - ✓ A la base niveau argilo-gréseux, qui se présente comme une croute ancienne.
  - ✓ Le niveau superficiel est constitué de sables éoliens, parfois gypseux, et de produits de remaniement des terrains mio-pliocène.

Les formations traversées par le tracé, sont :

- ✓ Du Pk 20+130 au Pk 21+245 : Dunes constituées de sables éoliens.
- ✓ Du Pk 21+245 au Pk 32+000 : Formations quaternaires constituées d'alluvions, sable, regs et terrasses.

VI.2.4 Sismicité :

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

D'après ce découpage notre région d'étude appartient à la zone 0, caractérisée par une sismicité négligeable.

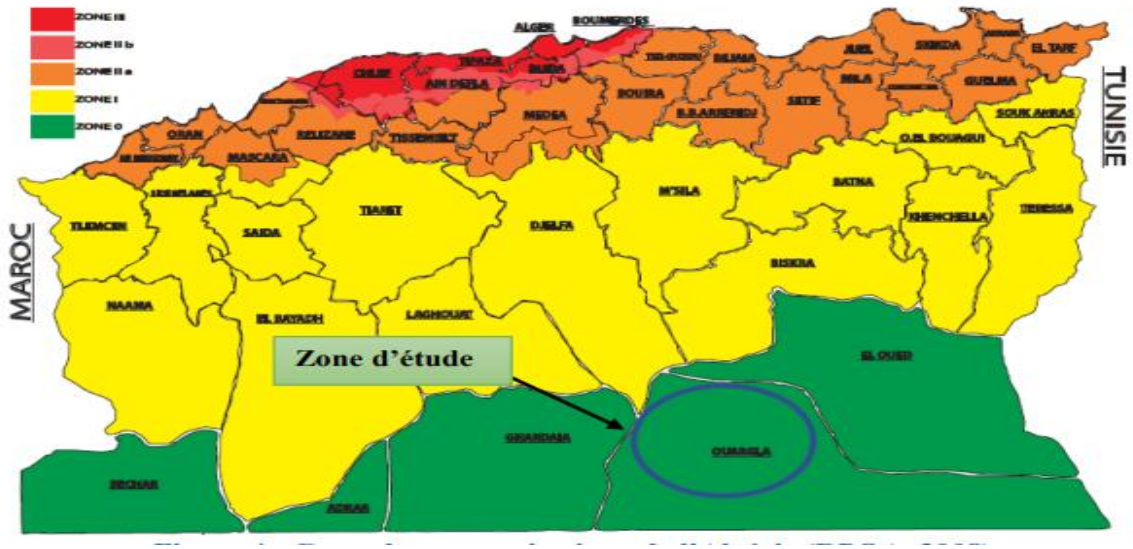


Figure VI-3 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)

VI.2.5 Risques géologiques :

En général, on distingue deux types de risques pouvant affecter l'environnement de la zone de l'étude :

- ✓ Tempêtes de sable et poussière. Dues au fait que le tracé se déroule en zone désertique, ces phénomènes pourraient causer des dommages matériels considérables.

- ✓ Dissolution de la croûte et hydratation de sel. Étant donné que la pluie est habituellement sporadique et que l'évaporation agit intensivement, il se forme des croûtes évaporatoires susceptibles de se dissoudre. D'un autre côté, il peut aussi se produire des phénomènes d'hydratation avec le gonflement. [9]

VI.2.6 Contraintes géologiques :

- **Effet de la salinité sur les ouvrages en béton :**

Les formations de la nappe phréatique superficielle, contenue dans les alluvions et couvrent pratiquement toute la cuvette de Ouargla, est caractérisée par une forte salinité (plus de 20 g/l). Ces sols sont considérés comme nocifs pour les infrastructures du fait des taux très élevés des chlorures et des sulfates, contribuant ainsi à la dégradation et la détérioration des fondations implantées.

- **Dissolution des gypses :**

La présence de gypse au sein des formations quaternaires dans la vallée d'Oued M'ya peut poser d'importants problèmes géotechniques car les eaux chargées en sels, dissolvent très facilement le gypse en laissant de nombreuses cavités dans le sous-sol, ce qui peut provoquer des affaissements.

VI.3 ETUDE GEOTECHNIQUE :

VI.3.1 Introduction :

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de sol, donc l'exécution d'un projet ferroviaire nécessite une bonne connaissance des terrains traversés ce qui exige des reconnaissances géotechniques.

Les éléments géologiques doivent être complétés par des éléments géotechniques précis pour comprendre le comportement du sol face aux charges extérieures. On cherche à connaître les caractéristiques fondamentales des terrains, notamment la granulométrie, la sédimentométrie, les limites d'Atterberg, les essais chimiques et la teneur en eau naturelle. Ces données servent à classer les sols et déterminer la classe de la plateforme requise pour le dimensionnement de la structure d'assise. Des essais de compression, de cisaillement, de compression triaxiale et d'œdomètre sont réalisés pour évaluer la stabilité des ouvrages en terre, les tassements des terrains sous les remblais et les pentes des talus de déblais et de remblais. Des essais in situ sont également effectués pour déterminer la portance des ouvrages.

VI.3.2 Travaux de reconnaissance et compagne d'essai :

VI.3.2.1 Levé de surface :

Dans le cadre de l'investigation géotechnique, la visite du site constitue la première étape à suivre pour formuler des hypothèses sur la nature du sol, qui seront ensuite confirmées ou infirmées à l'aide de relevés en profondeur. L'observation visuelle des formations locales et de leurs couleurs visibles à la surface du sol permet déjà d'identifier la nature des couches géotechniques superficielles

VI.3.2.2 Programme d'essai :

La campagne géotechnique sur le terrain a été menée sur la base d'un programme d'investigations géotechniques approuvé par l'ANESRIF, établi en fonction de la situation des ouvrages d'arts, ouvrages en terre et de terrassements envisagées le long du tracé où il a été réaliser.

- Sondages carottés de 15 m à 20 m de profondeur.
- Essais de pénétration dynamique jusqu'au refus.
- Puits de reconnaissance.
- Des essais de laboratoires.

VI.3.3 Sondage réalisé :

Sondage carotté :

Un sondage carotté est une méthode d'investigation géotechnique qui consiste à prélever des échantillons de sol à différentes profondeurs à l'aide d'une carotte ou d'une tarière. Ces échantillons permettent d'analyser les caractéristiques du sol, telles que sa composition, sa densité, sa résistance et d'autres paramètres importants pour évaluer la faisabilité d'un projet de construction.

L'entreprise de réalisation a planifié la réalisation des sondages carottés mentionnés dans le tableau ci-dessous et illustrés dans la figure suivante.

Tableau VI-1: Position des sondages

Type	PK	X /Y	Profondeur
Ouvrage routier	19+700	X :732044 Y :3534301	0-15m
Ouvrage ferroviaire	21+500	X :733312 Y :3535554	0-14m 14-16m 16-20m
Ouvrage routie	27+800	X :737694 Y :3540036	0-20m

VI.3.4 Puits de reconnaissance :

Les puits sont réalisés à l'aide d'un Retro – chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur de 0.5m à 4m

Tableau VI-2: Position des puits

Type	PK	X /Y	Profondeur
Plateforme	24+800	X :735880 Y :3537646	0-4m
Plateforme	29+315	X :738601 Y :3541231	0-0,5m 0,5-4m
Plateforme	31+300	X :739810 Y :3542824	0-0,5m 0,5-4m

VI.3.5 Essai in situ :

VI.3.5.1 Lecture piézométrique :

Pour déterminer le niveau de la nappe phréatique nous avons placé des tubes au niveau des sondages suivants : F04-OHS (21+700).

Lors de la compagne de relevé du niveau piézométrique laboratoire a détecté une semaine après la réalisation de chaque sondage, une présence d'eau qui se situe dans des intervalles de profondeur qui varient d'un sondage à un autre. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après :

Tableau VI-3 : Lecture piézométrique

N° Sondage	Niveau de l'eau / niveau du terrain naturel actuel	
	Après 48 h	Après 7 jours
F04-OHS	11.0	8.60

VI.3.5.2 Essais De « Standard Pénétration Test » SPT :

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration.

Les résultats de l'essai SPT sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau VI-4: Les résultats de l'essai SPT

N° forage	Profondeur (m)	N1	N2	N3	Nspt
F03-OHS	3.00 – 3.45	8	16	37	>50

N° forage	Profondeur (m)	N1	N2	N3	Nspt
	6.00 – 6.45	9	23	36	>50
	9.00 – 9.45	9	14	16	30
	12.00 – 12.45	10	18	28	42
F04-OHS	3.00 – 3.45	23	22	22	44
	6.00 – 6.45	8	8	10	18
	9.00 – 9.45	7	13	16	29
	12.00 – 12.45	14	28	55	>50
F05-OHS	3.00 – 3.45	16	20	30	50
	6.00 – 6.45	3	6	25	31
	9.00 – 9.45	11	28	48	>50
	12.00 – 12.45	13	30	42	>50

VI.4 Interprétation des résultats des essais de pénétromètre dynamique :

Comme cité auparavant dix-sept essais de pénétration dynamique ont été implanté le long du tracé, les résultats des essais sont présentés sur un référentiel, résistance dynamique Rd en fonction de la profondeur.

L'examen des diagrammes de pénétration, nous permet de constater qu'il existe des similitudes entre les diagrammes des différents essais ; dénotant une homogénéité des terrains investigués.

Nous pouvons diviser le sous-sol en zones à résistance homogène composées comme suit :

- La résistance de pointe obtenue dans ces essais : PDL-04 ; PDL-05 ; PDL-06 ; est située entre 50 et 100 bars aux alentours de 02.0 m de profondeur.

VI.4.1 Essais au laboratoire :

VI.4.1.1 Granulométrie et sédimentation :

A partir des forages :

L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée par le tableau suivant :

Tableau VI-5 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée

N° Sondage	Profondeur (m)		D<80µm	Observation
	De	À		
F03-OHS	1.50	3.00	06	Granulométrie étalées attestant d'un sol grenus
	6.00	7.50	09	
	12.00	13.50	13	
F04-OHS	3.00	4.50	08	Granulométrie étalées attestant d'un sol grenus
	10.00	12.00	07	
F05-OHS	1.50	3.00	03	
	3.00	6.00	02	
	10.50	12.00	04	Granulométrie étalées attestant d'un sol grenus

N° Sondage	Profondeur (m)		D<80µm	Observation
	De	À		
	12.00	14.00	05	
	17.00	18.00	19	

A partir des puits de reconnaissances :

Tableau VI-6 : L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée

N° Sondage	Profondeur (m)		D<80µm	Observation
	De	À		
PU04-OHS	0.5	4.00	/	/
PU06-OHS	0.50	4.00	10	Granulométrie étalées attestant d'un sol grenus

VI.4.1.2 Densité Sèche :

Tableau VI-7: Les valeurs de la densité sèche

N° Sondages	Profondeur (m)		γd (t/m3)
	De	À	
F03-OHS	1.50	3.00	1.44
	6.00	7.50	1.25
	12.00	13.50	/
F04-OHS	3.00	4.50	1.36
	10.00	12.00	1.29
	16.20	16.50	2.13
F05-OHS	1.50	3.00	1.27
	3.00	6.00	1.37
	10.50	12.00	1.23
	12.00	14.00	1.21
	17.00	18.00	1.20

VI.4.1.3 Essais De Résistance Au Cisaillement Rectiligne À La Boite :

Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne CD sont données dans le tableau suivant :

Tableau VI-8 : Les résultats de l'essai De Résistance Au Cisaillement Rectiligne À La Boite

N° Sondages	Profondeur (m)		C (kpa)	Φ' (°)
	De	À		
F03-OHS	1.50	3.00	3.18	31.8
	6.00	7.50	/	/

	12.00	13.50	3.71	31.6
F04-OHS	3.00	4.50	7.62	31.7
	10.00	12.00	6.52	31.8
	16.20	16.50	/	/
F05-OHS	1. 50	3.00	6.17	32.3
	3.00	6.00	/	/
	10.50	12.00	/	/
	12.00	14.00	/	/
	17.00	18.00	9.11	32.8

VI.4.1.4 Analyses Chimiques :

A partir des forages :

Les résultats des analyses chimiques sommaires du sol sont donnés par le tableau suiva nt (%)

Tableau VI-9 : Les résultats des analyses chimiques

N° Sondage	Profondeur (m)		Insoluble	Gypse	SO_4^{-2}	$CaCO_3$	Chlorure Na Cl	Observation
	De	À						
F03-OHS	1.50	3.00	81.8	0.55	0.12	15	0.011	/
	6.00	7.50	/	/	/	/	/	
	12.00	13.50	/	/	/	/	/	
F04-OHS	3.00	4.50	54.2	0.92	0.20	44	0.063	Agressivité faible
	10.00	12.00	/	/	/	/	/	
	16.20	16.50	82.3	0.36	0.08	15	0.044	
F05-OHS	1.50	3.00	91.4	1.28	0.28	06	0.117	Agressivité modéré
	3.00	6.00	87.40	2.21	0.49	/	0.029	
	10.50	12.00	/	/	/	/	/	
	12.00	14.00	/	/	/	/	/	
	17.00	18.00	/	/	/	/	/	

A partir des puits de reconnaissances :

Tableau VI-10 : Les résultats des analyses chimiques

N° Sondage	Profondeur (m)		Insoluble	SO_4^{-2}	$CaCO_3$	Chlorure Na Cl	Observation
	De	À					
PU04-OHS	0.50	4.00	/	/	/	/	/
PU06-OHS	0.50	4.00	84.1	2.21	13	0.011	Agressivité forte

VI.4.1.5 Essai Proctor normal :

Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés, ont donné des densités sèches

Maximum comprises entre 1.93 et 1.94 t/ m3 et une teneur en eau optimum Wopm située

Entre 3.9et 4.5

Tableau VI-11 : Les résultats d'Essai Proctor normal

Puits	Densité sèche (g/cc)	Teneur en eau optimale (%)
PU04-OHS	1.93	4.50
PU06-OHS	1.94	3.90

VI.4.1.6 Essai CBR immédiat et imbibé à 4 jours :

Le CBR immédiat réalisé sur (05) échantillons révèle une portance acceptable, les valeurs sont situées entre 86.51% et 44.0%, tandis que l'indice CBR obtenu sur les mêmes échantillons prélevés et imbibés à 4 jours, donne une valeur de 18.27% et 68.5%.

VI.5 Résultats des essais sur les puits de reconnaissance

VI.5.1 CLASSIFICATION DES SOLS :

Applications au projet :

Tenant compte de l'essai in situ (PU 4) PK 25+000 :

Classifications selon GTR :

Dmax = 10 mm < 50mm ⇨ donc classe de ce sol est A ou B ou D

Le passant à 80µm est de 5 % ET les Passant à 2 mm 89% ⇨ alors la sous classe de sol sera : D1 Sols insensibles à l'eau

Classification selon UIC (719 R) :

Sols comportant plus de 5 à 15 % de fines

Alors le sol est de classe QS2 (sols moyens).

Tableau VI-12Les résultats a partir des puits de reconnaissance

N puits	PK	Identification W_n (%)	Granulométrie			Essai Proctor		Classification GTR	Classification UIC
			D_{max} (mm)	2mm (%)	80µm (%)	W_{opn}(%)	δ_d (t/m3)		
PU4	PK 25+000	6.3	10	89	5	4.5	1.93	**D1s**	**QS2**
PU6	PK 36+500	6.4	20	85	10	3.9	1.94	**D1s**	**QS2**

Les différentes caractéristiques géotechniques sont résumées dans les Tableaux ci-dessous :

Tableau VI-13 : Les résultats a partir des forages

N° forages	PK	Profondeur		Densité (t/m3)	Granulo	Cisaillement CD		Analyses chimiques					Classification du sol
		DE	A	δ_d	D<80 µm	C (bars)	Φ (°)	insoluble	Gypse	SO4	CaCO3	Cl-	UIC
F03- OHS	19+880	1.50	3.00	1.44	06	3.18	31.8	81.8	0.55	0.12	15	0.011	QS2
		6.00	7.50	1.25	09	/	/	/	/	/	/	/	QS
		12.00	13.50	/	13	3.71	31.6	/	/	/	/	/	QS2
F04- OHS	21+700	3.00	4.50	1.36	08	7.62	31.7	54.2	0.92	0.20	44	0.063	QS2
		10.00	12.00	1.29	07	6.52	31.8	/	/	/	/	/	QS2
		16.20	16.50	2.13	/	/	/	82.3	0.36	0.08	15	0.044	/
F05- OHS	28+000	1.50	3.00	1.27	03	6.17	32.3	91.4	1.28	0.28	06	0.117	QS2
		3.00	6.00	1.37	02	/	/	87.40	2.21	0.49	00	0.029	QS3
		10.50	12.00	1.23	04	/	/	/	/	/	/	/	QS2
		12.00	14.00	1.21	05	/	/	/	/	/	/	/	QS2
		17.00	18.00	1.20	19	9.11	32.8	/	/	/	/	/	QS2

Tableau VI-14 : Les résultats a partir des puits de reconnaissance

N° forages	PK	Profondeur		Granulo	Essais Proctor		Analyses chimiques				Classification du sol
		DE	A	D<80 µm	gd	W	insoluble	SO4	CaCO3	Cl-	UIC
PU04-OHS	25+000	0.50	.00	/	1.93	4.50	/	/	/	/	/
PU06-OHS	36+500	0.50	4.00	10	1.94	3.90	84.1	2.21	13	0.011	QS2

VI.6 Utilisation des matériaux disponibles dans le Sahara :

VI.6.1 Utilisation des sables de dunes

Compte tenu des matériaux disponibles dans les régions sahariennes, le sable pourrait être utilisé soit avec un grave, soit avec un tuf calcaire ou gypseux, soit avec un sol argileux. L'intérêt d'un tel mélange se situe à deux niveaux technique et économique.

- **Les aspects économiques** sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dunes permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantités inépuisables. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement.

- **Les intérêts techniques** sont- de deux types :
  - ✓ Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.
  - ✓ Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.

VI.6.2 Matériaux de corps de Remblais et exigences constructives pour exécution :

Les matériaux constituant le corps de remblais doivent être exécutés par couches élémentaires superposées. La dimension des plus gros blocs ne doit pas dépasser les deux tiers de la couche élémentaire. Les blocs dont les dimensions sont incompatibles doivent être fractionnés ou enlevés.

✓ En général, les matériaux provenant des excavations des déblais pourront être utilisés dans la construction des remblais (corps), tant qu'ils soient appliqués de façon appropriée avec quelques restrictions constructives d'après les normes en vigueur, comme le GTR.

✓ La réutilisation des matériaux des déblais et des zones d'emprunt devra être menée avec soin, en conformité avec les recommandations du GTR, en particulier en ce qui concerne l'état hydrique des sols.

✓ Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont : $\gamma d \geq 95\%$ de l'OPM, $EV2 \geq 45$ MN/m² pour les sols fins et $EV2 \geq 60$ MN/m² pour les sols sableux et graveleux.

✓ Pour la couche de forme il est recommandable de sélectionner des sols de meilleure qualité, conformes à la fiche nº 4 de la norme ST590, notamment des sols des classes B3, CiBi, D2, D3, R21 et R41 de la classification GTR et par sols avec des matériaux passant à 80 $\mu \leq 12\%$.

Les matériaux à utiliser devrait être composé par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, et R62, et R42 de la classification GTR, et conformes à la fiche N°7 du document intitulé : Spécification Technique (ST 590Indice B).

VI.7 Conclusion :

La description géologique des sondages carottés réalisés le long de l'itinéraire retenu pour la nouvelle ligne ferroviaire entre le PK 19+000 et le PK 32+000 révèle que le sol de fondation se compose, de haut en bas, d'une couche de sable grossier suivi d'un sable rouge compact à très compact, parfois consolidé.

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on est conclu Le sol support est classé en QS2

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés indiquent que le sol de fondation présente une agressivité envers le béton de l'infrastructure. Il est donc recommandé de mettre en place une protection spéciale conformément à la norme NF P 18-011.

Il convient donc de prendre en compte ces éléments géotechniques lors de la conception et de la construction de la nouvelle ligne ferroviaire , afin de garantir la stabilité et la durabilité de l'ouvrage.

CHAPITRES VII : ASSISE FERROVIAIRE

VII. ASSISE FERROVIAIRE

VII.1 Introduction :

La superstructure de la voie ferrée est constituée de rails en acier fixés sur des traverses et soutenus par une couche de ballast. Elle assure la transmission des charges des roues et le guidage des véhicules. Pour éviter les problèmes de résistance insuffisante du sol et d'imperméabilité, une structure d'assise est utilisée. Des dispositifs de voie permettent les changements de direction.

VII.2 Structure D'assise Et Dimensionnement De La Plateforme Ferroviaire :

Plate- Forme Proposée :

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

VII.3 Méthode de dimensionnement adoptée :

Le dimensionnement de la couche d'assise et de l'épaisseur de la couche de forme a été effectué en suivant les indications de la fiche UIC 719R.

La définition de la classe de la plateforme suppose la classification préalable aussi bien de la qualité du sol support que de celle des matériaux constituant la couche de forme elle-même (voir le tableau suivant) : Dans ce contexte et pour homogénéiser la structure d'assise, nous considérons que le sol support est de type QS2 tout le long du tracé.

Tableau VII-1: détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719).

QUALITE DUSOLSUPPORT	CLASSE DE LA PLATE FORME	COUCHE DE FORME	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1 P2 P2 P3	QS1 QS2 QS3 QS3	- 0.50 0.35 0.50
QS2	P2 P3	QS2 QS3	- 0.35
QS3	P3	QS3	-

VII.4 Plateforme proposée:

Selon les informations précédentes, notamment en ce qui concerne la classe de qualité du sol support généralement rencontrée le long du tracé, qui est QS2, ainsi que les recommandations fournies par les UIC, il est conseillé d'opter pour une plateforme de type P3 (plateforme bonne). Cette plateforme doit être dimensionnée en amont pour prendre en compte les caractéristiques spécifiques de ce type de sol (QS3).

Ballast :

Le ballaste est un granulat utilisé dans la construction de la voies ferrées et dont 100% de la surface des grains est entièrement concassée.

Le Ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- ✓ Résistance à la fragmentation Los-Angeles : ≤ 19 %.
- ✓ Résistance à l'usure Micro deval : ≤ 6 %.
- ✓ La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau suivant :

Tableau : Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695)

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	% de la masse passante
63	100
50	70-100
40	30-65
31,5	0-25
22,4	0-3
31,5-50	50

- ✓ Résistance à la compression : RC ≥ 1200 kg/cm²
- ✓ Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives
- ✓ Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5 %.

Sous-couche :

La sous-couche est une couche intermédiaire positionnée entre la couche de ballast et la plateforme de la voie. Elle peut être constituée d'une seule couche ou de plusieurs couches.

La composition de la sous-couche, de haut en bas, comprend une couche de "sous ballast" constituée d'un matériau granulaire propre et bien gradué (0/31.5). Ensuite, dans les cas de sols de mauvaise qualité, une couche de fondation peut être ajoutée. Si nécessaire, une couche anti-contaminante peut également être intégrée, utilisant des feuilles de géotextile ou de géomembrane.

La sous-couche remplit plusieurs rôles importants, notamment :

- Amélioration de la capacité portante et répartition optimale des charges transmises.

- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires, réduisant les vibrations indésirables.
- Prévention de la contamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Protection contre l'érosion et les effets du gel.
- Drainage efficace des eaux de pluie.

VII.5 Dimensionnement de la structure d'assise :

VII.5.1 Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R :

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir :

Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 est donnée par l'expression suivante :

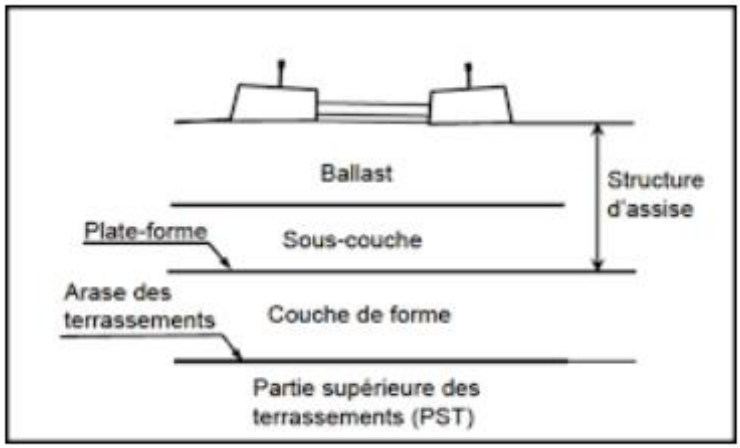


Figure VII-1 : Elément de la superstructure

$$e = E + a + b + c + d + f + g \quad (m)$$

Tel que :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3)
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714R)
- b : facteur dépendant de type de traverse
- c : facteur dépendant des conditions de travail (Un dimensionnement normal)
- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules

- f : facteur dépendant de la vitesse
- g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

VII.6 Application au projet :

✓ La capacité portante de sol support envisagée est de classe P3. D'où : E=0.45 m.

✓ La vitesse de la ligne est 220 km/h supérieur à 160 km/h donc : a= 0 m.

✓ Pour notre projet les traverses utilisées sont les traverses en béton de L = 2.245m.

b = $\frac{2.5-L}{2}$= $\frac{2.5-2,245}{2}$ = 0.1275m soit la valeur de b sera b = 0.13 m .

✓ Le cas de dimensionnement normale donc le paramètre c aura une valeur c = 0 m.

✓ La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est fixée pour le projet en pleine voie à 200 KN, donc la valeur de facteur d est de. d = 0.05 m.

✓ Pour les plateformes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse, la valeur de f est nulle. f = 0 m.

✓ La qualité du sol support est QS2 si on considère la qualité de couche de forme est de QS3, alors le facteur g prend la valeur de 0 m. g = 0m.

D'où **e = 0.45 + 0 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0 = 0.63 m**

On prend e=65cm, en utilisant les valeurs minimales de chaque couche on obtient des épaisseurs des couches représentées dans le tableau suivant :

Tableau VII-2 : épaisseur des différentes couches

Couche	épaisseur (cm)
BALLAST	30
SOUS BALLAST	20
COUCHE DE FONDATION	15
COUCHE DE FORME	35

CHAPITREVIII : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VIII. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VIII.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude hydrologique et d'assainissement pour la ligne ferroviaire envisagée dans le cadre de cette étude d'Avant-Projet Détaillé (APD). L'objectif principal de cette étude était de fournir les informations hydrologiques nécessaires pour la conception et la détermination des ouvrages de drainage et de protection. Les principales étapes de l'étude comprenaient :

- Identification des bassins versants traversés par le tracé de la ligne ferroviaire et leur délimitation.
- Détermination des débits de crue le long de la portion d'étude de la nouvelle ligne ferroviaire reliant les villes de Ouargla et Hassi Messaoud, sur une distance 13 km.
- Dimensionnement et localisation des ouvrages de drainage transversaux nécessaires pour gérer les débits calculés. Un certain nombre d'ouvrages de drainage standard seront utilisés le long de l'ensemble du tracé.
- Dimensionnement du drainage longitudinal, c'est-à-dire des fossés, pour assurer l'évacuation efficace des eaux le long de la voie ferrée.

En résumé, cette étude hydrologique et d'assainissement vise à fournir les données nécessaires pour concevoir les ouvrages de drainage et de protection adéquats le long de la ligne ferroviaire, en tenant compte des bassins versants traversés et des débits de crue prévus.

VIII.2 Contexte hydrologique général :

VIII.2.1 Description du site de projet

La zone d'étude se situe au Sud-est de l'Algérie, et fait partie du bassin versant du Sahara codé (13) d'après le classement de l'ANRH

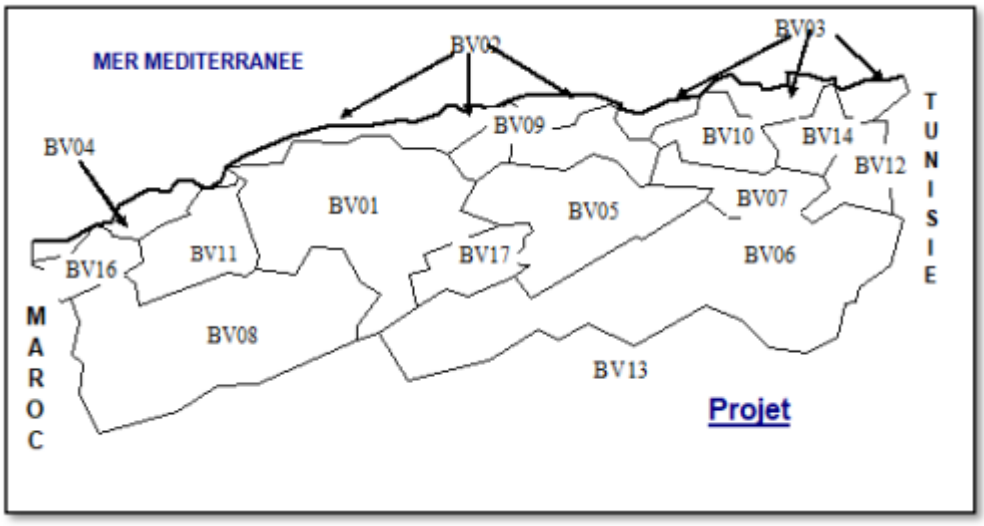


Figure VIII-1: Situation géographique du projet.

VIII.2.2 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE

Climat

La région d'étude est caractérisée par un climat de type saharien avec des températures estivales élevées, une faible pluviométrie et une forte évaporation.

Précipitation

D'une manière générale, les précipitations sont qualifiées de rares et irrégulières. Les données des dix dernières années enregistrées à la station météorologique de Ouargla, montrent que les précipitations moyennes annuelles sont de 35 mm. Janvier est le mois le plus pluvieux (9 mm) et juillet et août les plus secs (traces).

Tableau VIII-1 : Précipitation mensuelle moyenne à Ouargla de la période (2004 - 2014)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	8,71	0,72	5,17	1,25	0,64	0,55	0,20	1,67	3,45	5,86	5,78	1,76

Températures

Les températures sont de type saharien. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud est de 36° C en juillet et celle du mois le plus froid est de 11° C en janvier.

Tableau VIII-2: Les températures mensuelles à Ouargla de la période entre (2004 - 2014)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T°min (°C)	5,05	6,86	11,21	15,30	19,98	24,86	28,36	27,70	23,64	17,87	10,31	6,20
T°max(°C)	18,60	21,19	24,82	30,03	34,79	40,07	43,74	42,70	37,44	31,98	23,95	19,34
T°moy(°C)	11,82	14,03	18,02	22,66	27,39	32,47	36,05	35,20	30,54	24,93	17,13	12,77

Vents

Les vents ont une vitesse moyenne de 3,5 m/s. Cette vitesse est plus élevée en été (mois de mai, juin et juillet) avec plus de 4 m/s et moins élevée durant les mois d'hiver avec 2,8 m/s. La direction dominante des vents est Sud-Nord.

Tableau VIII-3: Vitesse moyenne mensuelle des vents de la période entre (2004-2014)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Vent(m/s)	2,6	2,7	3,6	4,2	4,2	4,5	4,0	3,5	4,0	3,4	2,8	2,8

Pluviométrie

Pluie journalière maximale de fréquence donnée :

La pluie journalière maximum de fréquence voulue (mm) calculée par la formule de suivante :

$$P_{j,\%} = \frac{\overline{P_j}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^u \sqrt{In\left(C_v^2 + 1\right)}$$

Avec :

$\overline{P_J}$ **:** Moyenne des pluies journalières maximale annuelle (mm)

C_v **:** Coefficient de variation

u : variable de GAUSS (dépend de période de retour)

Elles sont déterminées par l'étude statistique des pluies journalières à la synthèse régionale des pluies de l'Algérie (voir annexe) ; les valeurs de la station de Ouargla sont représentées dans le Tableau suivant :

Tableau VIII-4: valeurs des paramètres pour la station de Ouargla.

$\overline{P}$an (mm)	P_j (mm)	b	C_v
43	16.5	0.12	0.69

$\overline{P}$an : pluie moyenne annuelle (mm)

Les pluies maximales journalières

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

Tableau VIII-5 : pluies maximales journalières.

Période de routeur (années)	10	20	50	100
Pluie journalière maximum (mm)	30.2	37.9	49.0	58.0

VIII.2.3 BASSINS VERSANTS

Le bassin versant ou bassin d'alimentation au droit d'une section de mesure, est défini omme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Chaque bassin versant est séparé des autres par la ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique (carte d'état-major).

VIII.2.3.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

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

Les principaux paramètres qu'on doit identifier pour la modélisation des bassins sont :

- ✓ **A[Km2]** Surface de Bassin versant
- ✓ **P [Km]** Périmètre de Bassin versant
- ✓ **L [Km]** Longueur de l'oued
- ✓ **H_{max} [m]** Altitude maximale
- ✓ **H_{min} [m]** Altitude minimale

À partir de ces données, on calcule d'autres paramètres importants qui définissent le bassin :

- ✓ **H_{moy} [m]** altitude moyenne

$$H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$$

- ✓ **ΔH [m]** différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

$$\Delta H = H_{max} - H_{min}$$

- ✓ **P [m/m]** pente du bassin

P [m/m] = DH[m] / L [m].

- ✓ **Kc :** Indice de compacité

$$Kc = \frac{P}{P_{cercle_équivalent}} = 0{,}2821 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Pour notre projet, Il existe 2 bassins versants qui ont été délimités à l'aide le logiciel GLOBAL MAPPER 23.0.

Les caractéristiques des bassins versants des écoulements qui traversent la nouvelle ligne ferroviaire sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VIII-6 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des bassins versants tout le long de tracé.

N°BV	PK	Surface du BV(Km²)	Périmètre (Km)	Long (Km)	Hmax m	Hmin m	Hmoy m	P [m/m]	Kc
BV 1	23+668	2.883	9.158	1.842	177	153	165	0.013	1.52
BV 2	26+532	2.712	10.39	2.434	182	144	163	0.015	1.77

VIII.2.3.2 Temps de concentration

Le temps de concentration désigne la durée nécessaire aux gouttes d'eau non évaporées et non absorbées par le sol pour se déplacer du point le plus élevé d'un bassin versant jusqu'à son point de sortie.

Pour le calcul des temps de concentration des bassins versants on utilise les trois formules suivantes (Le choix des formules de détermination du temps de concentration se fait en fonction de la superficie du bassin versant) :

- Formule de VENTURA **(S < 5Km²)** : $\mathbf{Tc = 0.1272\sqrt{\frac{S}{I}}}$
- Formule de PASSINI **(5 Km² < A < 25 Km²) :** $\mathbf{Tc = 0.11\frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}}$
- Formule de GIANDOTTI **(25 Km² < A < 200 Km²) :**

$$\mathbf{Tc = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}}$$

Tel que :

- Tc : temps de concentration en (h).
- S : surface du bassin versant (km)
- I : pente brute du bassin en (m/m).
- L : longueur de cours d'eau principal en (km).
- Hmoy : l'altitude moyenne du bassin versant en (m).
- Hmin : l'altitude min du bassin versant en (m).

VIII.2.3.3 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement « Cr » est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels. **Cr = C1+ C2+ C3**

Tableau : Valeurs de coefficient C1 en fonction de la pente

Pente (P) (%)	**Coefficient (C1)**
P ≤ 3.5	0,01 – 0,05
3,5 ≤ P ≤ 11	0,06 – 0,10
11 < P ≤ 35	0,12 – 0,20
35 < P	0,22 – 0,30

Tableau VIII-7 : Valeurs de coefficient C2 en fonction de la nature de sol

Nature de sol	Coefficient (C2)
Imperméable	0,22 – 0,30
Peu perméable	0,10 – 0,20
Perméable	0,06 – 0,10
Très perméable	0,06 – 0,05

Tableau VIII-8 : Valeurs de coefficient C3 en fonction de la couverture végétale

Couverture Végétale	Coefficient (C3)
Rocheux	0,22 – 0,30
Prairie	0,17 – 0,25
Labours – Champs	0,07 – 0,15
Forêts et Terrains Sableux	0,03 – 0,05

- Les deux bassins ont une pente inférieure à 3.5% (I <3.5%), La valeur de C1 est value C1= 0.05

- La valeur de C2 est 0,10 qui est associée à un sol peu perméable et est considéré constante pour toute la région.

- La valeur de C3 vaut 0,05 correspondant à des forêts et territoire sableux.

Cr = 0.05+0.1+0.05 = 0.2 D'où Cr = 0.2

VIII.2.3.4 La fréquence d'averse :

$$\boldsymbol{P(t)}\textbf{= Pj\%}\left(\frac{t}{24}\right)^{b}$$

- P : Pluie journalière maximale annuelle.

- b : Exposant de climatique. b= 0.12

- Tc : Temps de concentration (heure)

VIII.2.3.5 Intensité de la pluie :

Les intensités maximales de période *t (h)* sont calculées par la relation :

$$\mathbf{I}=\frac{\boldsymbol{p(t)}}{\boldsymbol{Tc}}$$

- I: Intensité de la pluie (mm/h).
- T$\boldsymbol{c}$: Temps de concentration (h).
- P(t): Hauteur de la pluie de durée T$\boldsymbol{c}$,(mm)

VIII.2.4 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

Parmi les différentes formules disponibles pour le calcul du débit de projet, nous avons décidé d'utiliser la méthode la plus simple et la mieux adaptée à notre région d'étude, à savoir la méthode rationnelle.

VIII.2.4.1 La méthode rationnelle :

Pour les bassins versants d'une superficie inférieure à 10 km², le débit de crue a été calculé en utilisant la méthode rationnelle, dont l'expression est formulée de la manière suivante :

Q = 0.278 C.I. A

Tel que :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en (m3 /s).

C : Coefficient de ruissellement.

S : Surface du bassin versant en (km2).

I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour le temps de concentration en (mm/h).

VIII.2.4.2 La méthode de Burkli Ziegler

$$Q_T = 0{,}0039.C.H_{1H}.A^{0.75}.I^{0.25}$$

QT: Débit décennal en m3/s.

H_{1H} : Précipitation maximale (en mm) en 1H

A : Superficie du B.V. (en ha)

I : Pente moyenne du B.V en mm/m.

C : Coefficient de ruissellement

VIII.2.4.3 Application sur le projet

Exemple de calcul de temps de concentration

Comme tous les bassins ont des superficies inférieures à 5km2 (S < 5Km²), on utilise la Formule de VENTURA.

$$\textbf{Tc} = 0.1272\sqrt{\frac{S}{I}}$$

Pour BV1 :

S = 2.883Km^2 et I = 0.013(m/m) Tc=0.1272$\sqrt{\frac{2.883}{0.013}}$ =1.894 h

VIII.2.4.4 Calcul le débit par la méthode rationnelle

Calcul pour le bassin versant 01 avec une période de routeur de 100 ans :

Q = 0.278 ×C× S ×i

Tel que : i = $\frac{P(t)}{Tc}$ Et P(tc) = 1. 13×Pmax.j×$(\frac{Tc}{24})^{0.12}$ =1.13×58×$(\frac{1.894}{24})^{0.12}$ =48.32mm

Donc : i=$\frac{48.32}{1.894}$ =25.51mm /h D'où **Q= 0.278× 0.2 ×2.883 ×25.51 =4.08 m3 /s**

VIII.2.4.5 Calcul le débit par la méthode de Burkli Ziegler

Q = 0.0039×C×H×$S^{0.75}$×$I^{0.25}$

C=0.2 et S =2.883Km^2

H=9mm et I=0.013 m /m

D'où **Q=** 0.0039×0.2×9×$288.3^{0.75}$×$13^{0.25}$**=0.93 m3 /s**

VIII.2.4.6 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle :

Le tableau ci-dessous récapitule les débits de crue calculés à l'aide de la méthode rationnelle pour une période de retour centennale, pour les bassins versants dont la superficie est inférieure ou égale à 5 km² :

Tableau VIII-9: Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	AIRE Km^2	Coefficient de Ruissellement	L Km	DH m	P m/m	Tc h	P(t) (mm)	I_{100} mm/h	Q_{100} m^3s
1	2.883	0.2	1.842	24	0.013	1.894	48.32	25.51	4.08
2	2.712	0.2	2.434	38	0.015	1.71	47.73	27.91	4.2

VIII.3 Etude Hydraulique :

VIII.3.1 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal

Afin de rétablir les écoulements de surface interceptés par l'infrastructure ferroviaire, des ouvrages hydrauliques appropriés seront installés, en respectant les normes de conception appropriées. Ces ouvrages seront dimensionnés pour résister à des événements pluvieux extrêmes ayant une période de retour de cent ans, en utilisant la formule de Manning-Strickler pour le dimensionnement hydraulique.

VIII.3.1.1 Méthode de MANNING STRICKLER

Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de MANNING-STRICKLER.

Qs = V × Sm **Avec** **Qs= Ks ×Sm×$Rh^{2/3} \times I^{1/2}$**

- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m)
- Rh : Rayon hydraulique = $\frac{section\ mouillé}{périmetre\ mouillé}$
- Sm : Section mouillée de l'ouvrage b x Hm (m^2)
- b : Largeur de l'ouvrage (m).
- Hr : Hauteur de remplissage (m).
- Ht : Hauteur totale (m).
- Ks : Coefficient de rugosité ; Pour le béton Ks=70

VIII.3.1.2 Vérification des condition auto curage

L'auto-curage fait référence à la capacité d'un système d'assainissement à transporter les particules solides. Une bonne capacité d'auto-curage implique que le système soit capable de transporter les particules solides de manière efficace, évitant ainsi leur sédimentation.

Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

- ✓ V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps.
- ✓ V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps
- ✓ Vps < 4 m/s

VIII.3.1.2.1 Dimensionnement des dalots

Soit un dalot de (1.5× 1.5)

- Une pente de I = 0.5 %.

- Buse en béton : Kst = 70

Avec :

Hr= 0.75 h. = 0.75 ×1.5 = **1.125m.**

Rh = $\frac{Sm}{Pm}$ =$\frac{0.75\times1.5\times1.5}{3.75}$ =**0.45m.**

D'où **Qs=Ks ×Sm×$Rh^{2/3} \times I^{1/2}$** =70×1.6875× = **4.9 m3 /s**

Donc : **Qs =4.9 m3 /s > Q100 max = 4.08 m3 /s.**

VIII.3.1.2.2 Les conditions d'auto curage :

Vps = **Ks ×** $Rh^{2/3} \times I^{1/2}$ =70×1.6875×$0.45^{2/3} \times 0.005^{1/2}$ =2.9 m /**s < 4 m/s.**

- ✓ Pour Q /Qps =0.1 il faut Vécoulement > 0.6 m/s

Q /Qps= 0.1 V/Vps = 0.64 => V= 0.64×2.90 = 1.85 **> 0.6m/s.**

- ✓ Pour Q/Qps= 0.01 il faut Vécoulement > 0.3 m/s.

Q/Qps = 0.01 V/Vps = 0.32 => V= 0.32× 2.90 = 0.92 **> 0.3m/s.**

Les conditions auto curage sont vérifiées.

Et Qs > Q100

Pour les bassins versants, nous avons choisi d'utiliser des dalots des dimensions (1.5 ×1.5).

VIII.3.1.3 Résultats de calcul hydraulique

Avec même procédure de calcul et vérification on obtient :

Tableau VIII-10 : Liste globale des ouvrages à projeter

BV	PK	Q100 (m^3/)	Ouvrage projeté	Pente l'OH (m/m)	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Qps (m3/s)	Vps (m/s)	Condition auto curage
1	23+668	4.08	Dalot (1.5×1.5)	0.005	1.6875	3.75	0.45	4.9	2.9	Vérifié
2	26+532	4.2	Dalot (1.5×15)	0.005	1.6875	3.75	0.45	4.9	2.9	Vérifié

VIII.3.2 Assainissement longitudinal

Les ouvrages longitudinaux sont des structures techniques qui ont pour but de recueillir, acheminer et évacuer les eaux de ruissellement le long de la plateforme ferroviaire, en veillant également à gérer les eaux présentes sur les talus et à l'intérieur de la zone ferroviaire.

VIII.3.2.1 Dimensionnement des fossés

Pour le calcul hydraulique de fossés a été utilisée la formule de Manning-Strickler :

Qs=Ks ×Sm×$Rh^{2/3}$ × $I^{1/2}$

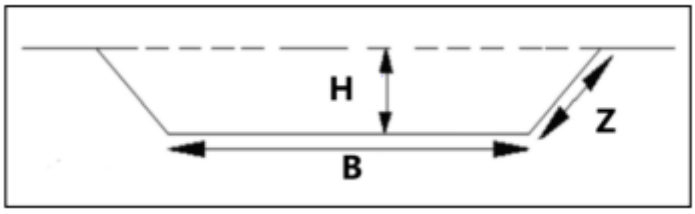


Figure VIII-2 : fosse trapézoïdale.

- La surface mouillée : Sm= (b+z× h) ×h
- Le périmètre mouillé Pm= b+2h.$\sqrt{1+z^2}$

- Le rayon hydraulique : *Rh*=*S*m/Pm
- Z la pente des berges.

VIII.3.3 Les hypothèses suivantes ont été posées pour effectuer le calcul des dimensions nécessaires :

✓ Coefficient de rugosité Strickler Ks = 75 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).

✓ La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.

✓ Forme de construction.

✓ Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 3/2.

✓ Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, es bermes et les talus : Qa=Qpf+Qb+Qt.

Dans le cas de projet les hauteurs des déblais et remblais sont inferieur à 8m. dans ce cas y'a pas des bermes Qb = 0. D'où les fossés seront dimensionnés avec débit rapporté par la plate-forme et les talus : Qapport= Qpf + Qt.

✓ Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

Q = 0.278 ×C× S ×i

VIII.3.4 Application sur le projet

VIII.3.4.1 Calcul des débits d'apport

Le calcul des débits se fait à une période de retour de 100 ans.

Qapport= Qpf + Qt

Tableau VIII-11: débit apport cas déblai.

		Cas déblai H_{max} = 2.01m Longueur = 290.85m	Cas remblai H_{max}= 2.2 m Longueur = 641.37m
Plate-forme	C	0.7	0.7
	P (m /m)	0.04	0.04
	$S_m(km^2)$	0.002326	0.00513
	Tc(h)	0.03	0.097
	I (mm/h)	979.33	348.75

	$Q(m^3/s)$	0.44	0.34
Talus	C	0.5	0.5
	P (m /m)	0.66	0.66
	$S_m(km^2)$	0.00058	0.0014
	Tc(h)	0.0037	0.0058
	I (mm/h)	6178.22	4159.72
	$Q(m^3/s)$	0.49	0.8
Qa (m^3/s) (total)		0.44+0.49=0.89	0.34+0.8=1.14

VIII.3.4.2 Dimensionnement des fossés

Cas de remblai

Qa = 0.95 m3 /s, On prend :

- Ks = 75.

- P = 0.0048 m/m, représente la pente de la ligne rouge sur le profil en long.

- b = 50 cm. h=50cm et z=1.5 m

Le résultat de calcul dans le tableau suivant

Tableau VIII-12 : dimensionnement du fossé proposé

B	H	Z	Sm(m2)	Pm(m)	Rh	ks	I (m /m)	$Q(m^3/s)$
0.5	0.5	1.5	0.625	2.3	0.27	75	0.0048	1.35

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

Qa <Qs

En conclusion, les types des fossés en béton adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5m, pente=3/2 H/V).

VIII.4 Conclusion

En se basant sur l'étude antérieure présentée dans ce chapitre, en tenant compte des spécifications de la région, il est nécessaire de prévoir la construction d'ouvrages de drainage longitudinaux et transversaux le long de la ligne

- ✓ Deux dalots de (1.5 ×1.5).
- ✓ Fossé de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5 m) le long de la voie.

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS

IX. PROFILE EN TRAVERS

IX.1 INTRODUCTION

Les travaux de terrassement sont les différentes opérations nécessaires pour concrétiser les profils transversaux d'un projet. Pour cela, on effectue le développement du profil en travers, une étape cruciale. Cette étape permet de définir la section transversale projetée pour le couloir, ainsi que les quantités de déblais et de remblais nécessaires.

IX.2 PROFIL DE TRAVERS

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie. On distingue deux types de profil :

- **Profil en travers type :E**

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

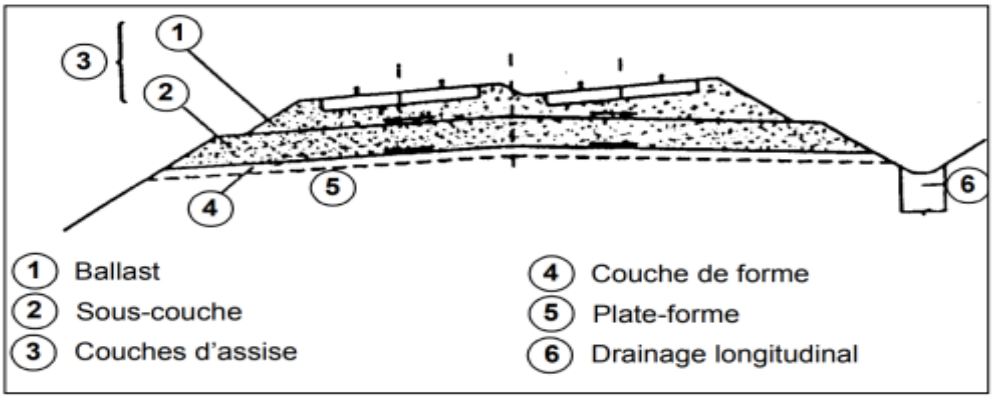


Figure : Profil en travers type

- **Profil en travers courant :**

Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet.

IX.3 Les éléments constitutifs d'un profil en travers

❖ **L'infrastructure**

On mentionne le nom, l'épaisseur et la pente transversale de chaque couche, ainsi que la pente latérale de la plateforme.

❖ **La superstructure**

Dans le profil en travers, il est nécessaire de spécifier le type de rail utilisé, la valeur de l'écartement, le type de traverses utilisées, ainsi que la valeur du dévers maximal en courbe.

❖ **Les talus**

Dans le cas d'un talus en déblai ou en remblai, il est essentiel de représenter la pente, ainsi que la longueur des bermes.

❖ **Assainissement**

On indique le type et dimension des fossés.

IX.4 Les caractéristiques de profil en travers affecté dans notre projet

- ✓ Type de ligne : voie unique mixte électrifiée.
- ✓ Ecartement de la voie : 1.435 m.
- ✓ Largeur de la plate-forme : 8 m.
- ✓ Pente latérale de la plate-forme : 4%
- ✓ Entraxe : 4.2 m.
- ✓ Pente latérale de la couche de ballast : 3/2
- ✓ Epaisseur du ballast : 30 cm.
- ✓ Epaisseur du sous-ballast : 20cm.
- ✓ Couche de fondation : 15cm
- ✓ Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- ✓ Pente (déblai : 3H/2V et remblai : 3H/2V).
- ✓ Fossé trapézoïdale en béton de à 0.5m de largeur et une pente 3/2

CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET OUVRAGE

X. TERRASSEMENT ET OUVRAGE

X.1 Introduction

Le terrassement consiste à remodeler le terrain avant la construction. Il s'agit de travaux de grande envergure qui impliquent le déplacement de quantités importantes de matériaux pour créer des ouvrages en terre, que ce soit en remblai ou en déblai, de manière à assurer la stabilité globale

X.2 Section en déblai

Les zones principales de déblais le long du tracé ont été soumises à un programme de reconnaissance géotechnique basé sur le profil longitudinal. Dans le cadre de ce projet on remarque que pas des zones importantes des déblais.

Les déblais seront profilés à **3H/2V**

Tableau X-1 : Les principales zones des déblais le long du tracé

Début	Fin	Hmax (m)	Longueur (m)	Unité géotechnique	Pk Hmax
28+200	28+490	2.01	290	Sable grossier	28+300

X.2.1 Protection Des Talus

Il est nécessaire de protéger les talus des ouvrages en terre ou des terrassements afin de :

- Prévenir toute altération des matériaux superficiels des talus et éviter toute modification de leurs caractéristiques intrinsèques.
- Protéger les matériaux en place contre les effets des conditions météorologiques (eau, gel, soleil) qui peuvent entraîner leur détérioration.

X.3 Section en remblai

Les remblais sont formés en apportant des terres pour rehausser le niveau du sol, ce processus étant également appelé remblaiement. La majeure partie du tracé se trouve sur des zones remblayées, dont la hauteur varie de 0 à 3.18 mètres

Tableau X-2: Les zones de remblais tout au long du tracé

Début	Fin	Hmax (m)	Longueur	Unité géotechnique	Pk Hmax
19+000	21+350	3.18	2350	Sable grossier	21+175
21+500	24+300	2.20	2800	Sable grossier	23+025
24+300	28+000	2.18	3700	Sable grossier	26+625
28+400	29+500	1.2	1100	Sable grossier	28+550
29+700	32+500	1.98	2800	Sable fin Sable grossier	30+800

Comme la région représente des terrains très peu accidentée on remarque les hauteurs déblais et remblais sont acceptable pas trop élevés tous sont inférieurs à huit mètre (H < 6m). Aussi Dans ce cas on n'est pas besoin de bermes.

Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour une hauteur H≤ 6m

X.3.1 Protection de surface des remblais

X.3.1.1 Décapage de la terre végétale

Après le décapage de la couche de terre végétale sur une épaisseur moyenne de 30 à 50 cm, le volume de terre végétale que l'on prévoit de réutiliser devra être mis à dépôt provisoire, pour l'ultérieur revêtement des talus de remblais. Le volume de matériel qui n'est pas nécessaire devra être mis en dépôt définitif.

X.3.1.2 Végétalisation

Il est essentiel de protéger et revêtir systématiquement les talus des remblais afin de prévenir l'érosion causée par l'écoulement des eaux de surface sur leur surface. Le revêtement recommandé a une épaisseur moyenne de 0,20 mètres.

Pour assurer une protection adéquate des talus avec de la terre végétale, certains travaux préparatoires du terrain doivent être réalisés, notamment :

- Avant de disperser la terre végétale, la surface des talus doit présenter une rugosité significative et ne doit pas comporter de sillons verticaux favorisant l'érosion.
- Cet objectif peut être atteint en réalisant une mobilisation superficielle du sol d'environ 0,10 à 0,15 mètres, par le biais d'une scarification.
- Les sillons d'érosion plus profonds doivent être comblés préalablement avec des matériaux granulaires afin d'assurer leur consolidation et la fixation ultérieure de la terre végétale.
- La dispersion de la terre végétale peut être réalisée manuellement ou mécaniquement, mais après cette étape, il est nécessaire de procéder à un nivellement et à un léger compactage.

X.4 CALCUL DES VOLUMES DES TERRASSEMENT

Le calcul des cubatures des terrassements a été fait à l'aide du logiciel « COVADIS 2016 » les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau X-3 : Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m3)
Remblais	134650,6
Déblais	90950,8

Tableau X-4: Récapitulatif des volumes des couches d'assise.

Couche	Volume (m3)
Ballast	21900
Sous ballast	21626,4
Couche de fondation	18647,6
Couche de forme	48456

X.5 Les ouvrages

Afin de concevoir un tracé optimal qui répond aux exigences techniques et économiques, tout en assurant le passage fluide de la ligne ferroviaire projetée et en permettant le franchissement des infrastructures existantes ainsi que des cours d'eau, plusieurs ouvrages doivent être intégrés à cette nouvelle ligne.

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

Les ouvrages de notre projet

Tableau X-5 : Liste des ouvrages d'art

Obstacle à franchir	PK de L'ouvrage	Ouvrage Projeté
Rétablissement Piste	21+690	Passage supérieur
Rétablissement Piste	24+492	Passage supérieur
Rétablissement Piste	27+715	Passage supérieur
Rétablissement Piste	29+942	Passage supérieur

X.5.1 Ouvrage Hydrauliques

Pour traverser des cours d'eau on envisage la construction de trois ouvrages (Pont Hydraulique, buse, Dalot) suivant l'importance du cours d'eau franchi.

Tableau X-6: Liste des ouvrages hydraulique

Types d'ouvrages	PK de L'ouvrage	Dimensions
Dalot	23+668	1.5×1.5
Dalot	26+532	1.5×1.5

X.5.2 Protections des conduites de gaz

Les ouvrages de protection des gazoducs sont conçus pour prévenir les contraintes et les vibrations causées par les charges et les vibrations provenant du trafic ferroviaire, assurant ainsi la sécurité et la préservation des conduites de gaz.

Les protections des conduites de gaz au PK 24+012

Caractéristiques techniques de l'ouvrage

- Ouverture : 4.60m
- Epaisseur des piédroits : 50cm

- Epaisseur de la dalle supérieure : 50cm.
- Longueur de l'ouvrage : 16m
- Hauteur du remblai : 1.13m
- L'infrastructure de l'ouvrage est constituée de deux semelles filantes (Provisoirement).

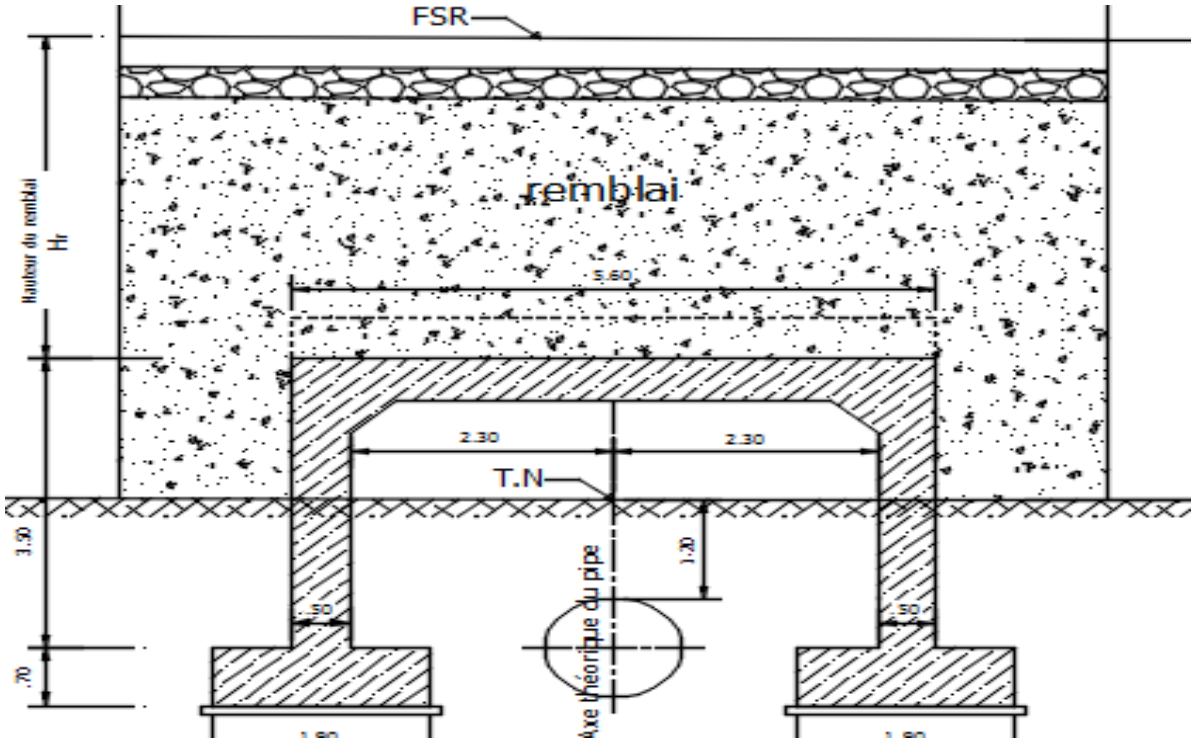


Figure X-1: coupe transversale de protection des conduites de GAZ

X.6 Conclusion

Le tracé du couloir présente un terrain essentiellement plat et peu accidenté, avec des déblais et des remblais d'une hauteur inférieure à 6 m, ce qui les rend tous considérés comme stables, avec des pentes de 2V/3H.

On peut conclure que dans notre projet les ouvrages d'art plus utilisé Sont Dalot et Passage supérieur

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE AIN BEIDA

XI. CONCEPTION DE LA GARE AIN BEIDA

XI.1 Introduction :

Les gares sont des points d'arrêt essentiels le long des voies ferrées. Elles permettent aux trains de faire des pauses pour permettre aux voyageurs de monter et descendre, ainsi que pour faciliter le chargement et le déchargement de marchandises.

Les gares sont également des nœuds de connexion importants, offrant des liens pratiques entre différentes lignes de train et d'autres modes de transport, ce qui facilite les déplacements dans la région et au-delà.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une présentation détaillée des éléments essentiels d'une gare voyageurs et de proposer une conception spécifique des voies et des quais pour la nouvelle gare de Ain Beida.

XI.2 DIFFERENTS TYPES DE GARES

Il existe différents types de gares, cela dépend de leurs nécessités, il y a :

- **Les gares voyageurs**
- **Les gares de marchandises ferroviaires**
- **Les gares mixtes (voyageurs marchandises)**
- **Les gares de triages**
- **Les gares de croisements**

Les gares voyageurs :

Les gares voyageurs, bien qu'elles soient souvent perçues comme de simples bâtiments, sont en réalité des ensembles qui regroupent toutes les fonctions liées à l'accès aux trains. Dans certaines gares, en raison d'un grand nombre de voyageurs, des fonctions supplémentaires telles que des commerces et des services divers sont également intégrées. Il existe deux types de gares voyageurs :

- **Gares de passage :** C'est le type de gare le plus courant. Le bâtiment est généralement situé le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. Les quais sont accessibles via une passerelle ou un souterrain.

- **Gares terminus :** Le bâtiment est généralement situé à l'extrémité des quais, perpendiculaire à ces derniers. Il est souvent organisé de manière symétrique, avec un côté réservé aux départs et l'autre aux arrivées.

- **Gare de triage**

Une gare de triage est un lieu spécialisé où les wagons de marchandises, qui ont été détachés de leur train d'origine, sont triés et regroupés pour être incorporés dans de nouveaux trains de marchandises.

Les gares de marchandises

Les gares de marchandises sont stratégiquement implantées dans des zones industrielles, agricoles et commerciales importantes, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands centres de recherche.

Leur rôle principal est de fournir toutes les installations nécessaires pour le chargement, et déchargement le stockage des marchandises.

Les gares de croisements

Ces gares sont parmi les plus petites et sont généralement situées le long des voies ferrées à voie unique. Leur principale responsabilité est d'assurer en toute sécurité la réception des trains des deux côtés de la gare, que ce soit lorsqu'un train s'arrête ou lorsqu'il passe sans s'arrêter.

XI.3 AMENAGEMENT DE LA GARE

Une gare ferroviaire s'aménage différemment selon son type, on peut donc distinguer plusieurs installations :

- Le bâtiment de voyageurs.
- Les bâtiments à usages divers (B.U.D).
- Les Quais.
- Les Abris de quais (protection des voyageurs contre les intempéries).
- Hall de stockage**.**
- Les passages sous terrain et les passerelles

XI.3.1 Installations d'une gare a voyageur

XI.3.1.1 Le bâtiment de voyageurs (B.V) :

Il s'agit d'une zone spécifiquement dédiée aux voyageurs et qui propose diverses installations telles qu'une salle d'attente, un guichet de billetterie, un poste de sécurité, un kiosque, et bien d'autres services pour répondre à leurs besoins.

XI.3.1.2 Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :

C'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer

XI.3.1.3 Quais :

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

XI.3.1.4 Les Abris de quais :

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

XI.3.1.5 GARAGE FRANC

Cette marque est constituée par une plaque rectangulaire en béton, peinte en blanc, Elle Matérialise le point limite où un train peut s'arrêter sans engager le gabarit de la voie convergente, au-delà de cette limite il y a un risque de prise en écharpe par un autre train.

La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement).

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de la distance de garage franc théorique.

GF = (3.57×N) + 1 en (m).

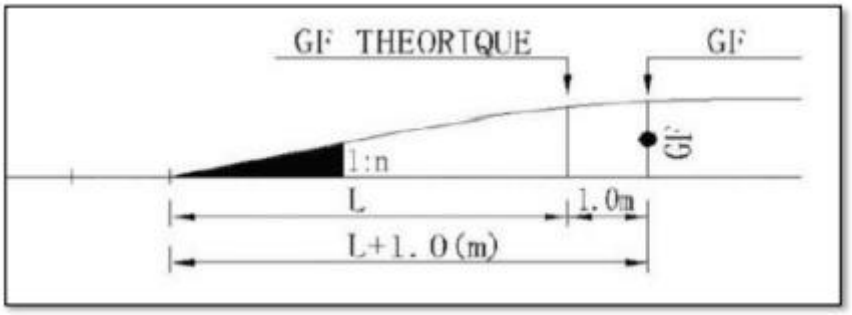


Figure XI-1: garage franc.

N : dépend type de l'appareil de voie.

Exemple

Un appareil UIC 60 -500 1/12 (tg0, 083)

GF= 3,57*12+1=43,84m

XI.3.1.6 LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. (Longueur entre deux garage Franc).

Selon les instructions de SNTF – ANESRIF La longueur utile minimale pour gare voyageurs est de :

- Longueur utile des quais Grande Ligne 300 m.
- Longueur utile des voies d'évitement 1200 m.

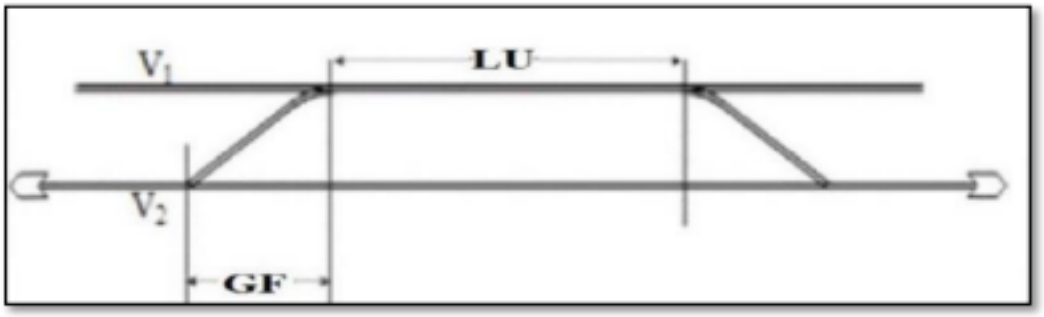


Figure XI-2: longueur utile.

XI.3.1.7 HEURTOIR

La fin d'une voie de garage ou de sécurité est marquée par la présence de heurtoirs aux extrémités. Ces dispositifs sont installés pour empêcher les véhicules en mouvement de continuer leur trajectoire au-delà de la voie. Ils sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent à travers l'utilisation de tampons.

Désignation	Chevalet placé sur la voie	Heurtoir en béton monobloc
Photo		
Caractéristiques	• Coûts relativement élevés pour l'entretien des graviers • Facilité de la mise en place et de l'enlèvement • D'une manière générale, placé à l'extrémité d'une voie ferrée en gare	• Peu coûteux pour entretenir des graviers • Difficulté de la mise en place et de l'enlèvement • D'une manière générale, placé sur l'impasse de sécurité pour empêcher le train en marche de continuer en dehors de la voie

Figure XI-3: Heurtoirs

XI.3.1.8 LES QUAIS

La Hauteur Du Quai (H)

Selon la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm.

Distance par rapport à l'axe de la voie

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

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

R : étant le rayon de la voie en (m).

I : étant l'écartement de la voie en (mm).

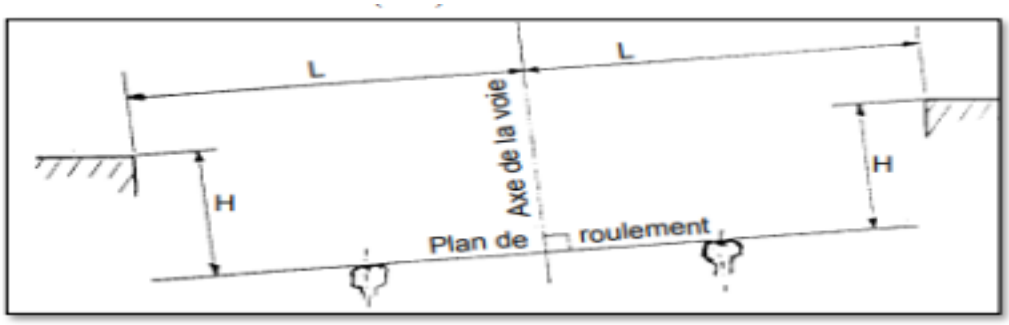


Figure XI-4: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie (source UIC741 OR).

L'entre axe des quais :

- e normal > 11.3 m.

- e minimal > 9.3 m.

La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare.

- Quai intermédiaire B > 8 m.

- Quai extérieur B ≥ 6m.

XI.3.1.9 Types des appareils de voie

Deux appareils de voies sont utilisés pour les deux gares (Ouargla et Ain-Beida)

- **UIC 60-500- 1/12 :** Cet appareil est un appareil de voie réalisé avec le rail UIC60 (60kg/ml), la voie déviée a une courbure de 500m et la tangente de l'angle de déviation est de 1/12. L'appareil permet une vitesse de déviation maximal de 70 km/h. Ce type d'appareil est utilisé dans la voie principale.

- **UIC 60-300- 1/9 :** Cet appareil est un appareil de voie réalisé avec le rail UIC60 (60kg/ml), la voie déviée a une courbure de 300m et la tangente de l'angle de déviation est de 1/9. L'appareil permet une vitesse de déviation maximal de 50 km/h. Ce type d'appareil est utilisé dans les voies de service.

Les spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 utilisés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau XI-1 : Paramètres de l'appareil de voie.

Appareil de voie	Type de rail	R (m)	LQ (m)	A (m)	B (m)	Vitesse en voie directe (Vitesse en voie déviée)
1/12	UIC 60 E1	500	43,481	20,797	22,684	160 km/h (65 km/h)
1/9	UIC 60 E1	300	34,538	16,616	17,922	160 km/h (50 km/h)
	UIC 60 E1	190	28,328	10,523	17,805	160 km/h (40 km/h)
1/7	UIC 60 E1	190	28,468	13,503	14,965	160 km/h (40 km/h)

Des diagrammes d'appareils de voie de type UIC 60E1 sont présentés ci-dessous.

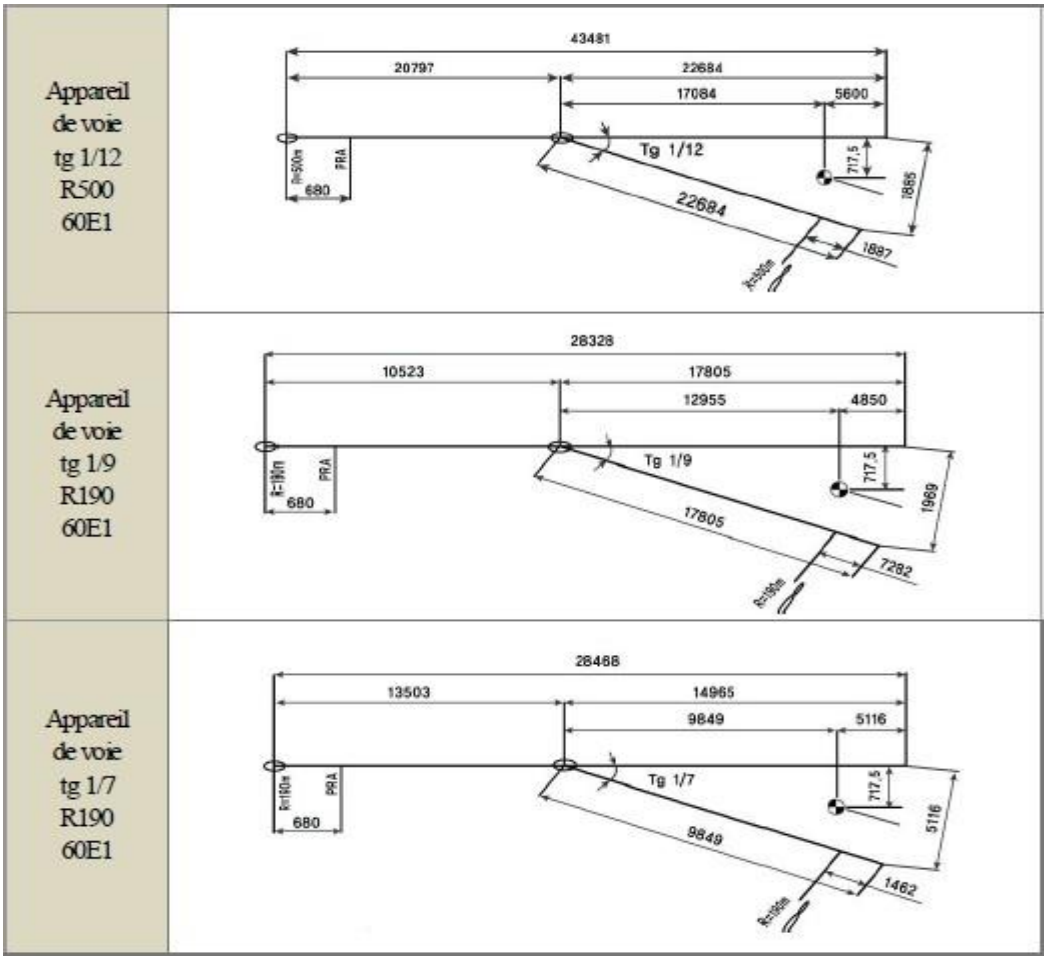


Figure XI-5: Schéma de l'appareil de voie.

XI.4 La gare de AIN EL BEIDA

Est située sur la périphérie Ouest de la nouvelle ville d'Ain Beida. Elle longe la route nationale N°56 à l'Ouest et elle est bordée à l'Est par l'aménagement projeté de la nouvelle ville.

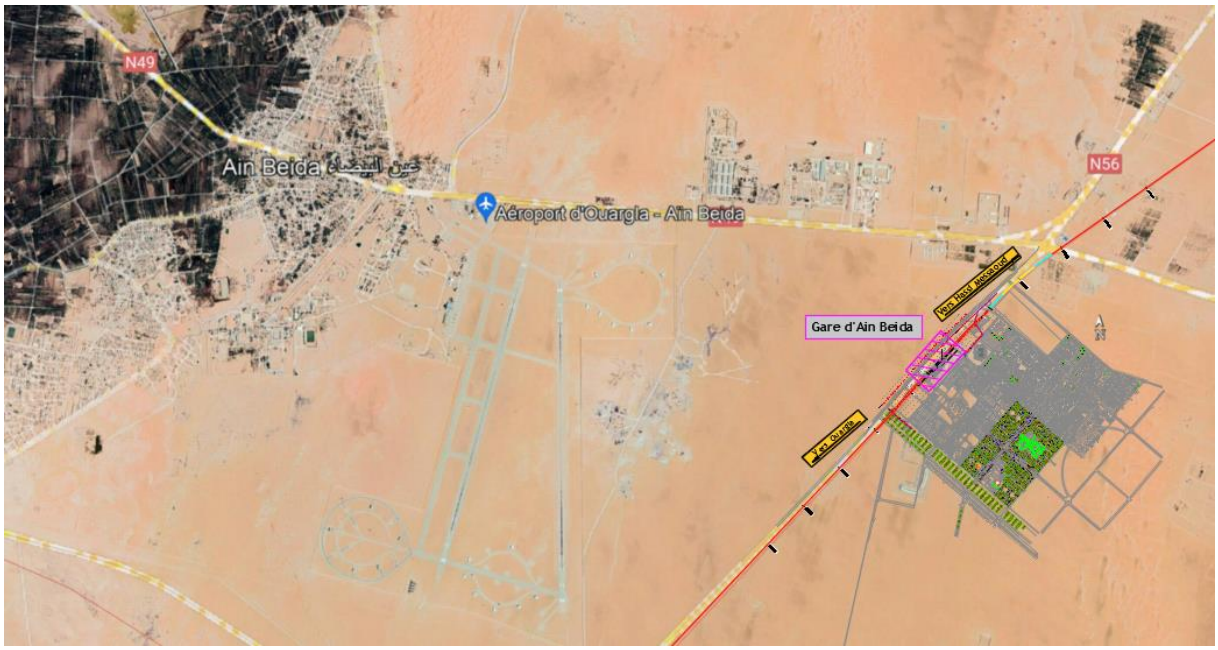


Figure XI-6: La gare de AIN EL BEIDA

La gare de Ain El Beida est aussi une gare intermédiaire des voyageurs qui début du PK19+000 avec une longueur de 1400 m avec 2 quais de mêmes dimensions.

Elle est composée de trois voies qui sont les voies : 1,2 et 3. La voie principale V1 dont le train ne s'arrête pas à cette station.

La voie secondaire V2 est ainsi une voie d'arrivée dont les voyageurs auront accès aux trains par un quai 02. La voie V3 qui possède le quai numéro 02, est enfin pour l'arrivée et départ des trains des voyageurs.

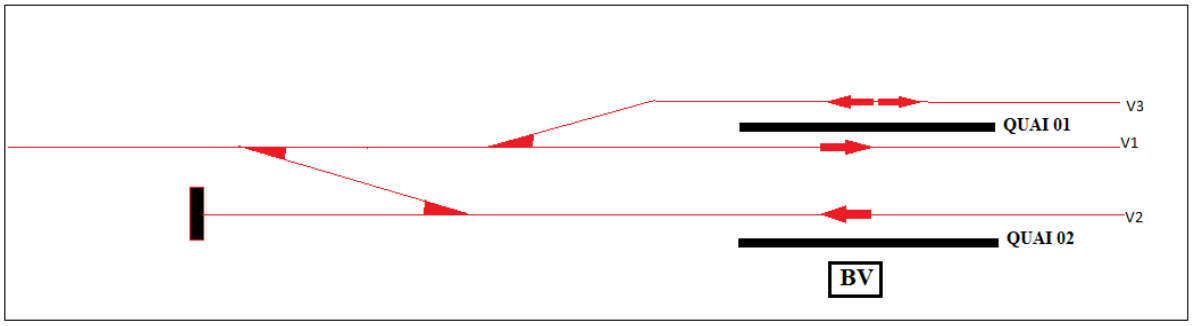


Figure XI-7 : gare de Ain el Beida.

Longueur des quais :

- ✓ Les quais des voyageurs 1et 2 sont localisés en alignement droit et possèdent une longueur de 300m.avec une pente de 2%.

✓ La largeur des quais : Selon les instructions recommandées par la SNTF et L'ANESRIF Pour les quais on prend une largeur de 8m ,

✓ La hauteur des quais : la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de 550mm.

✓ Leur distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 est :

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

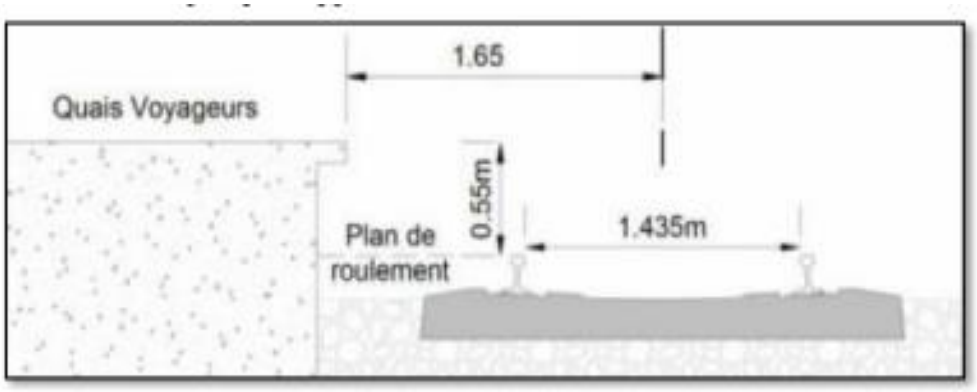


Figure XI-8: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie

✓ L'entre axe des quais : Entraxe normal en ≥ 11.3

✓ L'entre axe enter les axes de la voie : 4.2 m

Passerelle supérieure :

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

✓ La largeur est : B ≥ 2.4 on prend une largeur B = 3 m.

✓ La hauteur est : H > 6.2 m soit une hauteur 7 m pour mieux placer les caténaires.

Les abris de quai :

- Soit dans un quai de 300, trois abris de hauteur 3m

XI.5 Assainissement dans la gare

Les quais ont une pente de 2% en toit, de même, les plates-formes sont inclinées transversalement d'une pente de 4%.

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

CHAPITRES XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII. SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 Introduction

La signalisation ferroviaire assure la sécurité des trains en fournissant au conducteur les informations nécessaires pour conduire en toute sécurité. Les signaux, qu'ils soient de forme, de combinaisons ou de couleur, disposés le long des voies ou en cabine, ont une signification prédéfinie. Ils indiquent les limitations de vitesse, les arrêts non prévus, les directions à suivre et les consignes relatives à la traction électrique. La signalisation ferroviaire est essentielle pour la sécurité des chemins de fer

XII.2 Rôle de l'installation de signalisation

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

- ✓ Les risques de déraillement par excès de vitesse
- ✓ La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez)
- ✓ La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...)
- ✓ Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau)

XII.3 Différentes fonctions des signaux :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

XII.4 Type de signalisations :

Afin d'avertir le conducteur, un signal peut être mécanique ou numérique

XII.4.1 Signalisation lumineuse :

Il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire. Qu'elle soit mécanique ou lumineuse, la signalisation peut comporter en outre :

- Des tableaux ou pancartes réflectorisés,
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables,
- Des tableaux lumineux
- Des guidons d'arrêt

XII.4.2 Signal mécanique :

Il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur

XII.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX :

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

- Distance d'arrêt,
- Distance de ralentissement.

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

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

XII.5.1 Implantation des signaux

Les signaux d'annonce à distance jouent un rôle essentiel dans la sécurité ferroviaire en permettant :

- ❖ Prévenir le conducteur à une distance suffisante pour garantir un freinage efficace dans des conditions normales
- ❖ Assurer l'arrêt du train devant un signal d'arrêt ou le respect d'une limitation de vitesse dans une zone délimitée.
- ❖ Calculer les distances d'arrêt et de ralentissement en tenant compte de
    - •Le profil moyen de la voie, notamment la déclivité moyenne.
    - •La vitesse maximale à laquelle le signal à distance doit être abordé.
    - •Les caractéristiques de freinage du train.

En somme, les signaux d'annonce à distance sont essentiels pour informer le conducteur du train à une distance adéquate afin de lui permettre de freiner correctement et de respecter les consignes de sécurité. Ces distances de freinage et d'arrêt sont calculées en fonction du profil de la voie, de la vitesse maximale et des capacités de freinage du train.

Types des signaux :

Tous les signaux seront des signaux LED, visibles à une distance minimale de 1000 mètres.

XII.6 Localisation des signaux :

Les signaux sont situés du côté de la voie dans le sens de circulation des trains. Ils sont fixés sur des mats, qui sont à leur tour fixés sur une base en béton. La taille de la base en béton doit être calculée pour assurer une fixation solide, tenant compte des conditions climatiques et de la force du vent. Les matériaux utilisés devront être de préférence inoxydables, ou traités pour

résister à la corrosion. Les signaux seront équipés d'écrans de couleur noire entourant les unités lumineuses.

XII.7 Visibilité des signaux :

Deux principales conditions concernant la visibilité depuis les cabines de conduite :

a) Visibilité des signaux hauts : Les signaux hauts, situés à 2,42 mètres à droite ou à gauche de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 mètres au-dessus du plan de roulement, doivent être visibles à une distance supérieure à 10 mètres du plan de front des tampons.

b) Visibilité des signaux bas : Les signaux bas, situés à 1,75 mètre à droite ou à gauche de l'axe de la voie et à 0,240 mètre au-dessus du plan de roulement, doivent rester visibles jusqu'au front des tampons, de manière continue avec des éléments visibles.

XII.8 Le système de signalisation ERTMS

L'ERTMS (Européen Railways Traffic Management System) est un système de contrôle et de commande standardisé et interopérable pour la gestion du trafic ferroviaire en Europe. Il contrôle la signalisation latérale par le biais de balises et donne l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation. L'ERTMS vise à harmoniser les systèmes de signalisation et de commande ferroviaires, améliorant ainsi la sécurité, la capacité et l'efficacité des réseaux ferroviaires européens. C'est un système avancé qui facilite la coordination et la gestion efficace du trafic ferroviaire à travers l'Europe.

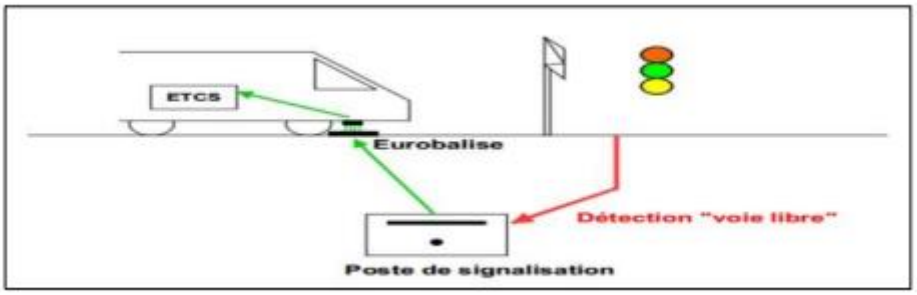


Figure XII-1: Le systeme europeen de controle des trains (ERTMS) niveau 1

XII.9 Signaux à respecter

La totalité des signaux de manœuvre et d'espacements sont de types lumineux de la SNCF Ces derniers sont conformes à leurs schémas de situation et présentent les aspects prévus au Règlement Général de Sécurité et l'avis Général de Sécurité de la SNTF. Les cibles utilisées sont les suivantes :

- Cible type 1 où type C pour les signaux principaux.
- Cibles type 3 où type H pour les signaux principaux.
- Cible type 4 où type R pour les signaux d'avertissement.
- Cible type K pour les carrés « violet » de type bas positionné sur voies principales et à l'origine d'itinéraires de refoulement.

Le feu des signaux a un contrôle d'intensité de courant, la technologie utilisée est celle des diodes électroluminescentes (LED), elle présente de gros avantages techniques mais son coûte est 10x plus élevé

Quant aux indications et les séquences de signalisations elles suivront la réglementation de la SNTF.

XII.10 Electrification

Un système d'électrification ferroviaire est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour alimenter en énergie électrique les trains (locomotive électrique ou rame automotrice électrique). Les trains sont alimentés en courant alternatif haute tension ou en courant continu.

Le système d'électrification adopté pour la ligne Ouargla – Hassi Messaoud c'est le système à courant alternatif 25kV/50Hz avec mode d'alimentation caténaire avec une portée de 50 m. et la hauteur entre plan supérieur de rail et le fil de contact est normalement de 5.75m

XII.11 Conclusion

L'objectif de l'ANESRIF est de positionner le réseau ferroviaire algérien parmi les plus sécurisés du continent africain. Cela sera réalisé en mettant en œuvre des technologies de pointe dans le domaine ferroviaire, telles que le système européen de contrôle des trains ERTMS/ETCS et le GSM-R, qui seront largement adoptés.

CHAPITRES XIII : ETUDE IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII. ETUDE IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 Introduction

Une étude d'impact sur l'environnement est un outil d'identification, de prédiction, d'estimation et de gestion relatifs aux éventuels impacts d'un projet sur l'environnement biophysique, social et économique. Elle prend en compte l'ensemble des facteurs environnementaux tout en se focalisant sur les éléments les plus significatifs.

La réalisation de ce projet doit démontrer la capacité des intervenants à satisfaire certaines exigences afin de garantir sa réussite et assurer sa pérennité compte tenu de l'évolution, d'une part, de l'environnement économique, d'autre part, technologique de l'activité

XIII.2 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude du présent projet est délimitée par un couloir qui traverse la Wilaya de Ouargla vers la Commune de Hassi-Messaoud. La Wilaya de Ouargla Est située au Sud-Est du pays dans le bas Sahara dans les limites de latitude 28°45' et 33°55' et de longitude 3° et 9° 35' couvrant un territoire de 163 230 km2 . Elle se situe à 128 m. D'altitude, à 190 km à l'Est de Ghardaïa, 388 km au Sud de Biskra, 160 km au Sud-Ouest de Touggourt. La Ville de Ouargla est située dans une dépression appelée « cuvette de Ouargla» d'une superficie plus de de140, 000 hectares. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khoulied

La wilaya de Ouargla est limitée :

- Au Nord par le Sebkhet Safioune ;

- A l'Est par les ergs Touil et Arifdji ;

- Au Sud par les dunes de Sedrata ;

- A l'Ouest par le versant est de la dorsale du M'Zab.

La wilaya d'Ouargla s'étend sur une superficie de 163 230 km2 répartis sur 04 daïras

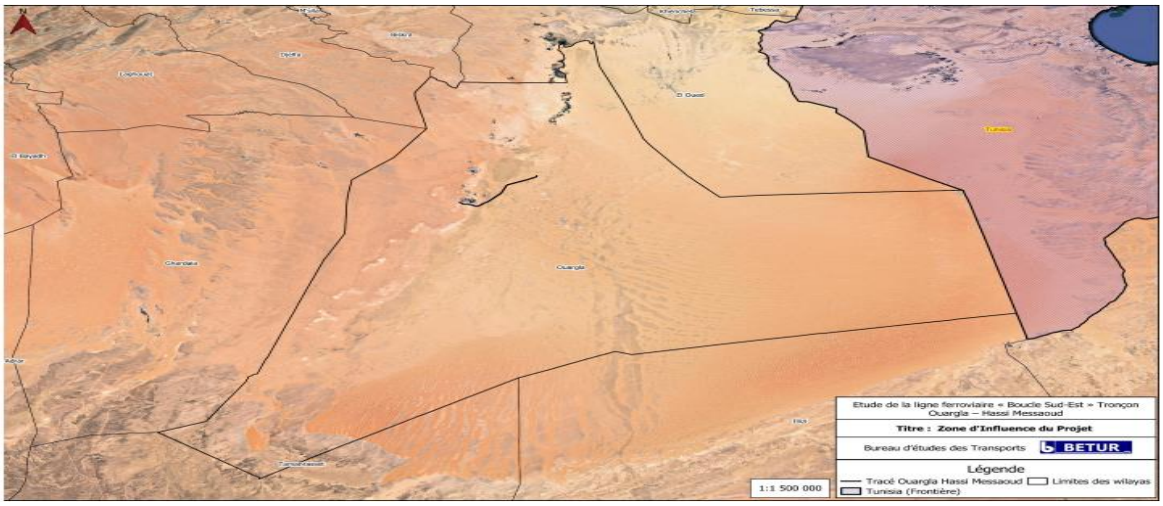


Figure XIII-1 : Localisation de la zone d'étude

XIII.3 Objectifs de l'étude :

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est de rechercher les impacts ou nuisances de la ligne ferroviaire de telle sorte à pouvoir proposer un plan d'action environnemental qui reposera sur les objectifs suivants :

• Se conformer aux exigences légales et réglementaires environnementales nationales et internationale.

• Identification des différentes sources de pollution et de nuisances générées par l'établissement, et proposer des mesures, procédures ou dispositifs en vue de prévenir, réduire et/ou supprimer ces pollutions et nuisances.

• Prévenir et maîtriser la pollution engendrée par ces activités.

Méthodologie et conduite de l'étude

L'étude s'est déroulée en trois étapes suivantes :

•La première étape de l'étude a consisté en la recherche et l'exploitation de documents et études réalisées sur le site ;

•La seconde phase est celle de la collecte de données sur le terrain ;

•La troisième phase a consisté en l'analyse et le traitement des données collectées et la rédaction du rapport

XIII.4 Milieu physique

XIII.4.1 Topographie

La zone d'étude présente une topographie plane, uniforme et vierge, avec la présence de quelques dunes de sable. Les altitudes de la zone d'étude révèlent de faibles dénivelés allant de 162 m à 131 m sur une distance d'environ 21 km.

XIII.4.2 Hydrographie

La zone d'étude repose sur la plus importante aquifère et l'essentiel ressource saharienne en eau est la plus anciennement utilisée qui s'étend du Nord au Sud tout au long des vallées avec une profondeur de 1 à 8 m, présentant une contrainte pour la phase de réalisation du projet à prendre impérativement en considération pour éviter tout risque de contamination

Les vallées sont représentées par la vallée fossile d'oued Miya et celle de l'oued Righ

Le premier aquifère, le Complexe Terminal, s'étend sur une superficie d'environ 665 000 km² et recouvre approximativement l'espace Sud-Est

Le second aquifère, le Continental Intercalaire ou nappe albienne, d'une plus grande ampleur, recouvre une superficie d'environ 1 100 000 km² (dont 700 000 km² en Algérie)

XIII.4.3 Sismologie

En Algérie, l'activité sismique est concentrée essentiellement au nord du pays, elle est entraînée par le rapprochement des plaques eurasiatique et africaine. La zone traversée par le projet se situe dans une zone de niveau de sismicité faible.

XIII.4.4 Climat

La région Sud-Est appartient au domaine Aride à Hyper - Aride particulièrement la wilaya de Ouargla, présentée par un climat saharien caractérisée par une forte chaleur accompagnée de vents de sable en été

La zone d'étude est caractérisée par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de l'activité biologique de l'écosystème.

Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (Juillet) sont de 35 - 40 °C à Ouargla et de 35 – 50 °C à Hassi-Messaoud. Alors que celles du mois le plus froid (Janvier) sont de 09 - 80 °C à Ouargla.

Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 1 et 180 mm par année exceptionnelle. Les précipitations moyennes annuelles sont de 28,7 mm /an à Hassi Messaoud.

Les vents dominants dans cette région sont ceux de NNE et SSE avec une vitesse pouvant atteindre et parfois dépasser 20 m/s. Le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année.

L'humidité relative enregistre des taux tournant de 21 à 77 %. Alors que l'évaporation est très importante (583 mm à Ouargla et 420 mm à Hassi-Messaoud).

XIII.5 Milieu naturel

XIII.5.1 La flore & La faune

En milieu désertique, la faune y est rare. On rencontre dans la région des mammifères insectivores (hérisson, rat à trompe), carnivores (fennec, chacal), rongeurs (gerbilles, souris, gerboises, lièvres), ainsi que des ongulés (gazelles). Les espèces d'oiseaux sont peu nombreuses. On rencontre aussi des reptiles et des arachnides (scorpions …). Les insectes constituent quant à eux la population animale la plus variée et la plus nombreuse

Au niveau des zones humides (Chotts, Sebkhas, Lacs, …) la faune y est plus abondante et plus diversifiée. On y rencontre :

- Les oiseaux : Canard Colvert, Flamant Rose, Barge à queue, Faucon, Buse, Aigle

- Les mammifères : Chacal, Hyène, Sanglier

- Les reptiles : vipère, Couleuvre, lézard, etc…



Figure XIII-2 : Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude

Les hamadas, les regs, les ergs et les oueds sont des types géomorphologiques auxquels est liée une végétation caractéristique répartie comme suit :

• **Les sols ensablés et les e**rgs, qui sont dominés par le drinn en association avec l'éphédra, le retam, le genêt saharien, le calligonum ;

• **Les substrats argileux, caillouteux et les regs** sont occupés par des groupements pauvres en espèces notamment par le remth ; En voici quelques-unes : Aristida pungens (Drin), Retama retam (Rtem), Calligonum comosum, Ephedra allata (àalenda), Urginea noctiflora, Erodium glaucophyllum.

• **Les sols rocheux et les hamadas** comportent les groupements à remth et la fagonie. Sur cette même formation géomorphologique et notamment sur les pentes et les falaises on trouve une forte proportion d'espèces rares ou endémiques ;

• **Les dépressions fermées** des zones sahariennes et les daïas contiennent le bétoum et le jujubier.

• **Les vallées et les lits d'oueds** : sont occupés par les formations à Acacia raddiana qui trouvent leur plein épanouissement au Sahara central. En plus de l'Acacia raddiana on retrouve également : Acacia seyal, Acacia scorpioides. Lorsqu'il y a une alimentation en eau sur les alluvions sableuses on trouve une formation à Tamarix, notamment Tamarix articulata, Tamarix gallica, Tamarix pauciovulata. Signalons aussi le Zizyphus mauritanicus et Zizyphus lotus

XIII.6 Milieu humain

XIII.6.1 La population

La densité de population dans la zone d'étude (wilaya de Ouargla) est de 348.762 hab et la commune de Hassi Messaoud avec une population de plus de 49.818 habitants en 2017. Ouargla présent aussi une forte polarisation de la population, 85 % A.C.L. et 2.9% éparse, ce qui s'explique en partie du fait des spécificités de la Wilaya : vastes zones inhabités et inhabitables dans l'est et le sud (Erg oriental), etc.

XIII.7 L'agriculture :

La vocation de la wilaya est agro-pastorale et elle enregistre un développement spectaculaire de cette activité notamment la phœnici-culture et la céréaliculture sous pivot grâce à son climat et à la mobilisation de la ressource hydrique.

XIII.8 L'industrie

Il existe quelques unités industrielles d'importance nationale dans l'État (industrie minière, industrie chimique, moulins à semoule/farine, matériaux de construction en particulier les produits rouges, etc.). On peut également trouver une grande zone industrielle, et il y a également des zones d'activités dans d'autres villes de l'État de Ouargla.

XIII.9 Les infrastructures de transport

Le Réseau Routier La Wilaya de Ouargla, avec 1484 km de routes nationales (RN 3, RN 16, RN 49, RN 51, RN 53, RN 56 et TGT- MSD)

Le Réseau Aéroportuaire En ce qui concerne le secteur aérien, la zone est desservie des aéroports nationaux ; Ain El Beida et Hassi Messaoud

XIII.10 Tourisme

La wilaya de Ouargla est connue comme une région touristique renommée et ce grâce à son fort potentiel (sites et monuments, zones naturelles, us et coutumes locales, infrastructures, traditions touristiques avérées, etc.).

XIII.11 Des impacts positifs et négatifs des couloirs

	Alternative sans projet	Alternative avec projet
Impacts positifs	▪ Protection des zones humides contre les nouveaux projets ferroviaires pouvant porter atteinte à sa flore et sa faune protégées, ▪ Protection des zones agricoles contre l'expropriation, ▪ Diminution des accidents dus au transport routier, ▪ Protection des cours d'eau contre la	▪ Facilitation du transport de voyageurs et de marchandise, ▪ Diminution des émissions de gaz à effet de serre et amélioration de la qualité de l'air, ▪ Diminution de la congestion des villes dues au parc automobile, ▪ Diminution des émissions sonores dus au parc automobile et aux trains vétustes,

	pollution et des forêts contre l'abatage d'arbres dû aux nouveaux projets ferroviaires, ▪ Développement des activités socio-économiques ce qui impactera positivement le mode de vie et l'environnement	▪ Développement des régions isolées traversée par le projet, ▪ Augmentation de la valeur des terrains ruraux traversés par le projet, ▪ Diminution de l'exode rurale dans les zones traversées par le projet.
Impacts négatifs et risques	▪ Émission de gaz à effet de serre et de particules par le transport routier, ▪ Congestion des villes due à l'absence du transport ferroviaire ce qui impact négativement le mode de vie, ▪ Menaces sur la santé humaine (qualité de l'air) et la qualité des eaux et du sol (pollution par les carburants), ▪ Pollution sonore due au parc automobile ▪ Exode rurale due au manque de travail et difficulté de se déplacer pour l'éducation et les soins, ▪ Entrave du développement socio-économique dû au manque de transport ce qui impacte négativement l'environnement	▪ Risque d'atteinte aux sites Ramsar et cours d'eau non classés (pollution de l'eau lors des travaux de réalisation), ▪ Risque d'atteinte à la faune et la flore, ▪ Risque de provoquer une barrière physique due à la présente ligne ferroviaire, ▪ Érosion et/ou tassement des sols durant la phase de réalisation, ▪ Émission de gaz à effet de serre par les engins utilisés dans la réalisation du projet, ▪ Risques de chute de roches durant la phase de réalisation du tunnel.

XIII.12 Mesure prise en compte

La proposition d'intégration paysagère de la voie ferrée tiendra compte des contraintes environnementales, écologiques, botaniques et morphologiques du terrain, pour cela le maître d'ouvrage doit mettre en place un plan de suivi et de surveillance des différentes activités

- Les oueds, chott et lacs rencontrés dans la zone d'étude agissent comme couloir biologique, habitat ou refuge pour une grande quantité d'espèces à cet effet, la protection des cours d'eau et lacs contre tout déversement de polluants dû à la maintenance ou à la circulation des trains est nécessaire.

- Pour éviter l'affection des oiseaux en période de reproduction, il est recommandé de programmer les travaux de majeure perturbation acoustique, hors des saisons de reproduction, et les travaux de débroussaillage de la végétation hors de la période de nidification et d'élevage (automne et hiver).

- Revégétassions des deux côtés de la ligne, ce qui peut agir comme filtre pour réduire la dispersion des polluants ainsi que l'ensablement de la voie et le bruit sur les habitations proches de la ligne ferroviaire.

- En fin de chantier, les talus doivent être restaurés, l'apport de la terre végétale doit être suivi rapidement par la végétation et l'hydro ensemencement pour éviter sa perte par l'érosion éolienne, hydrique ou gravitationnelle. La couche de la terre végétale appliquée doit avoir 30 cm d'épaisseur sur la surface et doit être étendue avec une machine sans qu'elle soit compactée.

- Il est recommandé d'installer des écrans acoustiques (murets ou butes, sinon équiper les maisons proches de l'infrastructure par des fenêtres double vitrage qui permettent l'isolation sonore) dans les points situés à moins de 50 m des maisons pour réduire l'impact acoustique jusqu'aux valeurs limites fixées par la réglementation.

- Assurer la sécurité des riverains lors des différentes phases du projet en implantant des panneaux de signalisation.

- Protection des riverains et transporteurs en prévoyant des extincteurs le long des wagons, ainsi que lors du transport de carburants ou la manœuvre dans les gares de marchandises.

- Prévoir un plan préventif en cas de fuite ou d'accident à travers de scénarios inclus dans une étude spécifique relative aux transports de matières dangereuses.

- Prévoir des mesures de sécurité lors du transport de matières dangereuses

- Le suivi et la maintenance continue des installations de production et de transport d'électricité.

- Le suivi, entretien et maintenance des trains ainsi que les rails pour prévenir les risques d'incendie et d'accident.

- La surveillance de la ligne et la mise en place d'un système d'intervention d'urgence en cas d'accident (incendie, accident d'exploitation, épandage accidentel des produits dangereux…)

XIII.13 Conclusion

Le présent projet consiste en une nouvelle ligne ferroviaire Boucle Sud Est- Tronçon Ouargla Hassi Messaoud qui passera par une zone sensible comportant mais, qui promet un développement économique et touristique régional important. Le respect de la réglementation en vigueur, les mesures compensatoires et les recommandations illustrées dans la présente étude d'impacts sur l'environnement dont une bonne préservation des zones croisées par le projet permettront d'insérer le projet dans son environnement tout en assurant un développement socio-économique et durable régional

CHAPITRE XIV : DEVIS QUANTITATIF ESTIMATI

XIV. DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF

Tableau XIV-1: devis quantitatif estimatif.

	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant HT (DA)
1- INSTALLATION DE CHANTIER					
1-1	Installation générale de chantier	F	1	200 000 000.00	200000000.00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					**200000000.00**
2- TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale	M3	85515.6	450.00	36 482 020.00
2-2	Déblai	M3	32 829.28	1 000.00	32 829 280.00
2-3	Remblais	M3	131 317.12	800.00	105 053 696.00
2-4	Fourniture et mise en ouvre de la couche de forme	M3	48 456,00	2800.00	135 676 800.00
2-5	Fourniture et mise en ouvre de la couche de sous ballast	M3	21 626,40	3200.00	69 204 480.00
2-6	Couche de fondation	M3	18 647,60	3 200.00	59 672 320.00
Coût total des terrassements (DA)					**438 918 596.00**
3- OUVRAGE D'ART					
3-1	Passage supérieur	U	1	450 000 000.00	450 000 000.00
Coût total des ouvrages d'art (DA)					**450 000 000.00**
4- OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	11 600.00	4 720.00	54 752 000.00
4-2	Dalot en béton armé 1.5×1.5	M3	72.00	45 000.00	3 240 000.00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					**57 992 000.00**
5- TRAVAUX DE VOIE					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	21 900,00	4 164.45	91 201 455.00
5-2	Fourniture des rails UIC 60	T	1565.46	107 306.04	167983313.4
5-3	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé	U	4 664	8 245.00	38 454 680.00
5-4	Fourniture des traverses monobloc	U	21658	11167.00	81 899 202.00
5-5	Attache Nabla	U	105288	434.72	45 770 799.36
5-6	ADV UIC 54 – 300-1/9	U	4	11 251 441.52	45 005 766.08
5-7	ADV UIC 60 – 500-1/12	U	2	15 433 581.05	30 867 162.1
5-8	Heurtoir	U	2	480500.00	961 000.00
5-9	Pose de la voie	ML	15400	5 318.13	81 899 202.00
Coût totale des travaux de voie (DA)					**584 042 579.90**
6- GARE					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	1	10 000 000,00	10 000 000,00

6-2	Quais	M3	2 640	2200	5808000.00
Coût totale de la gare (DA)					**15808000.00**
7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
7-1	Signalisation et électrification				292 021 290.0
Coût totale de la signalisation et électrification (DA)					**292 021 290.00**

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot N° 01	Installation de chantier	200 000 000.00
Lot N° 02	Terrassements	438 918 596.00
Lot N° 03	Ouvrage d'art	450 000 000.00
Lot N° 04	Ouvrages hydraulique	57 992 000.00
Lot N° 05	Travaux de voie	584 042 579.90
Lot N° 06	Gare	15 808 000.00
Lot N° 07	Signalisation et électrification	292 021 290.00
Montant du projet HT		2 038 782 466.00
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		**2 426 151 135.00**

Montant total du projet en TTC :

Deux milliards quatre cents vingt-six millions cent cinquante et un milles cent trente-cinq de Dinars

CONCLUSION GENERAL

CONCLUSION GENERALE

Le programme de relance économique, axé sur le développement durable du pays, accorde une place importante et un intérêt majeur au secteur des travaux publics. Il met l'accent sur l'amélioration et l'aménagement d'infrastructures de qualité afin d'offrir de meilleurs services aux usagers des chemins de fer et des autoroutes, et de répondre à la demande croissante en matière de transport.

Étant donné que l'Algérie est un pays peu développé dans le secteur ferroviaire, compte tenu de son immense superficie, plusieurs programmes de modernisation du réseau national ont été mis en place pour insuffler une nouvelle dynamique à notre économie.

Notre projet de fin d'études, qui porte sur une étude APD (Avant-Projet Détaillé) d'un tronçon de 13 km (du PK19 au PK32) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique entre Ouargla et Hassi Messaoud, s'inscrit dans le cadre de ce programme de développement. Il vise à améliorer les conditions d'exploitation et les performances du chemin de fer, ainsi qu'à relier ces villes au réseau ferroviaire.

Dans notre étude, nous avons fait face à de nombreuses contraintes tout en respectant les normes en vigueur et en tenant compte des aspects économiques et environnementaux. Notre démarche consistait à résoudre chaque problème rencontré en suivant les recommandations en vigueur (UIC, SNTF).

Ce projet de fin d'études a été une opportunité précieuse pour mettre en pratique nos connaissances théoriques et acquérir une expérience concrète dans le domaine des travaux publics. En utilisant des logiciels tels que Autocad, Covadis et Global Mapper, nous avons pu consolider nos compétences techniques et comprendre de manière pratique les méthodes d'optimisation du travail. Cette expérience nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine ferroviaire et de mieux appréhender le métier d'ingénieur. La synthèse que nous avons réalisée sera un atout précieux dans notre future vie professionnelle, grâce à une formation complète et efficace dispensée par l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Bibliographie

[1]Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : https:/www.sntf.dz/, consulté en ligne le 02 Avril 2017.

[2] Histoire des chemins de fer algériens — Wikipédia

[3] UIC 719 R a et b, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.

[4] Ouargla- Wikipédia

[5] Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien - l'Equipe : dynamique des sables et techniques de lutte contre l'ensablement (C.R.S.T.R.A)

[6] Cours Mr. Morsli – ENSTP

[7] Cours Mr. Rahmani - ENSTP

[8] Présentation du programme ferroviaire national – ANESRIF

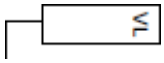
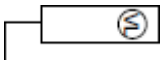
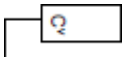
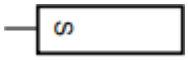
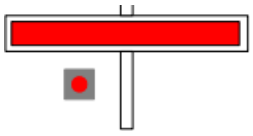
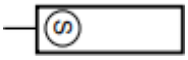
[9] PFE Bouhnik Hibet Allah Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Touggourt- Hassi Messaoud de PK0+000 au PK 12+000 Année 2021/2022

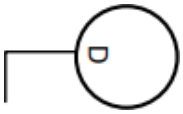
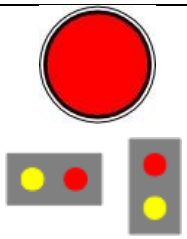
[10] HAMOUCHE Lydia et MELLAH Nawel, étude d'avant-projet détaillé de la ligne nouvelle entre Méchria El Bayadh sur 15km avec conception de la gare de Méchria, ENSTP, 2017

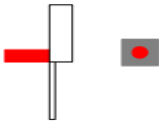
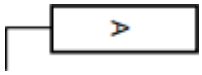
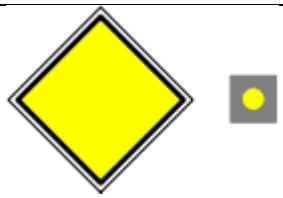
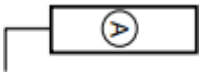
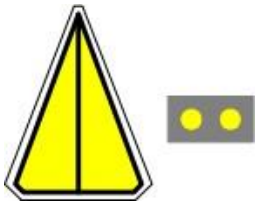
[11] SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie Version 2 du 22/12/2005

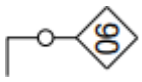
ANNEXES

LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION

Nom du signal et représentation schématique	Indication présentée	Signification	Signalisation mécanique
Signaux d'indication de marche			
Feu vert  Voie Libre		Le feu vert indique au mécanicien que la marche normale est autorisée.	
Feu vert clignotant 		Commande au conducteur d'un train a vitesse limite plus élevée de réduire sa vitesse à 160km/h.	
Signalisation d'arrêt			
Carré violet (Cv) 	 Présente un feu violet	Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est utilisé sur voies de service.	
Le sémaphore (S) 	 Un feu rouge	Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.	
Le feu rouge clignotant. 		Est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue.	

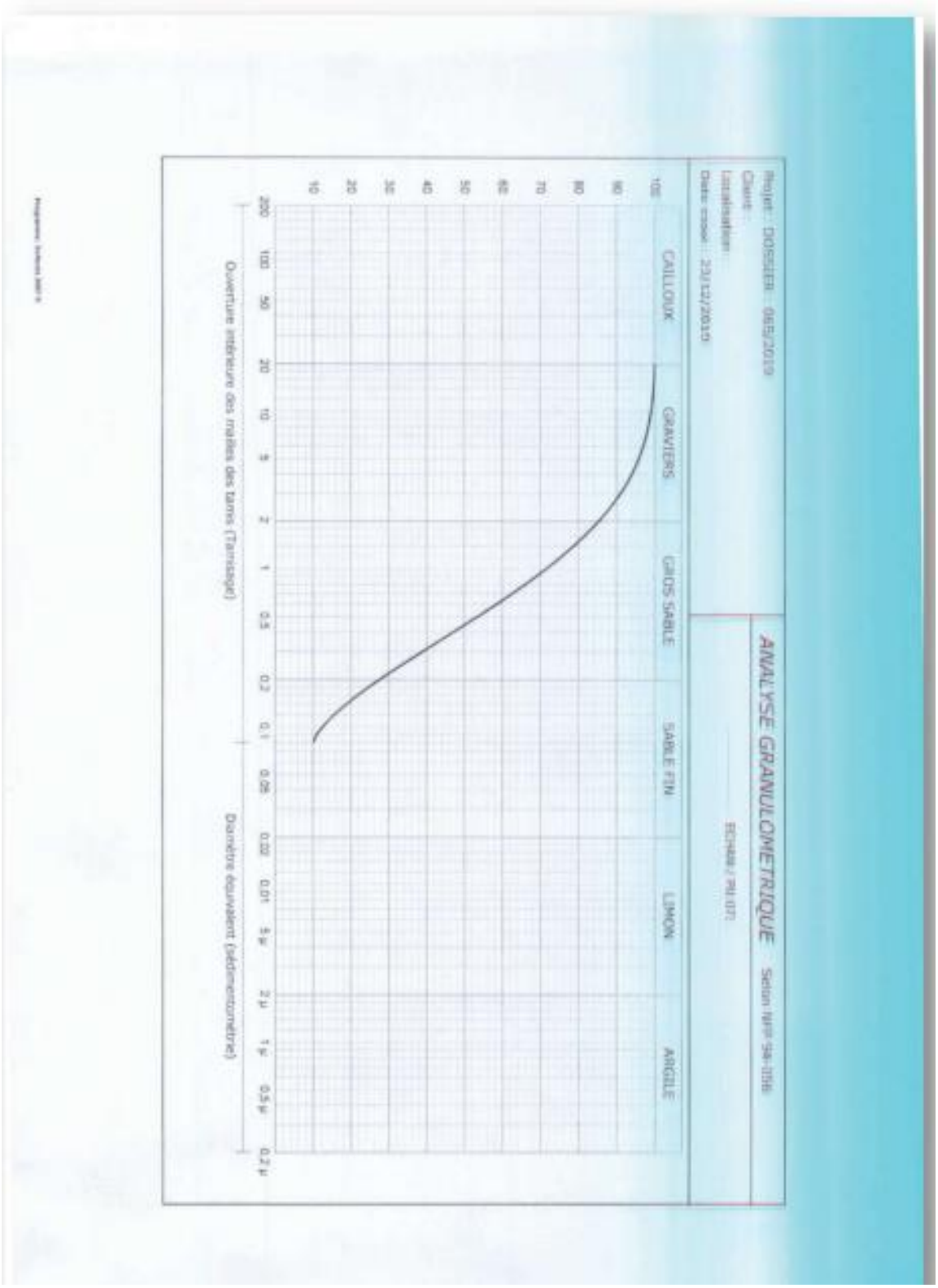
Disque 		Commande au mécanicien de se mettre aussitôt que possible en marche à vue et de marquer l'arrêt au premier signal ou appareil de voie rencontré	

Guidon d'arrêt 		Il commande l'arrêt différé après marche à vue.	
Signalisation d'annonce d'arrêt			
L'avertissement A 		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant ou les signaux d'arrêt annoncés.	
Le feu jaune clignotant (A) 		Commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal d'arrêt annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant	
Bande lumineuse jaune horizontale		Indiquer au mécanicien qu'il va entrer sur voie principale à quai courte ou raccourcie	
Signalisation de limitation de vitesse			
Ralentissement 30 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage correspondant.	

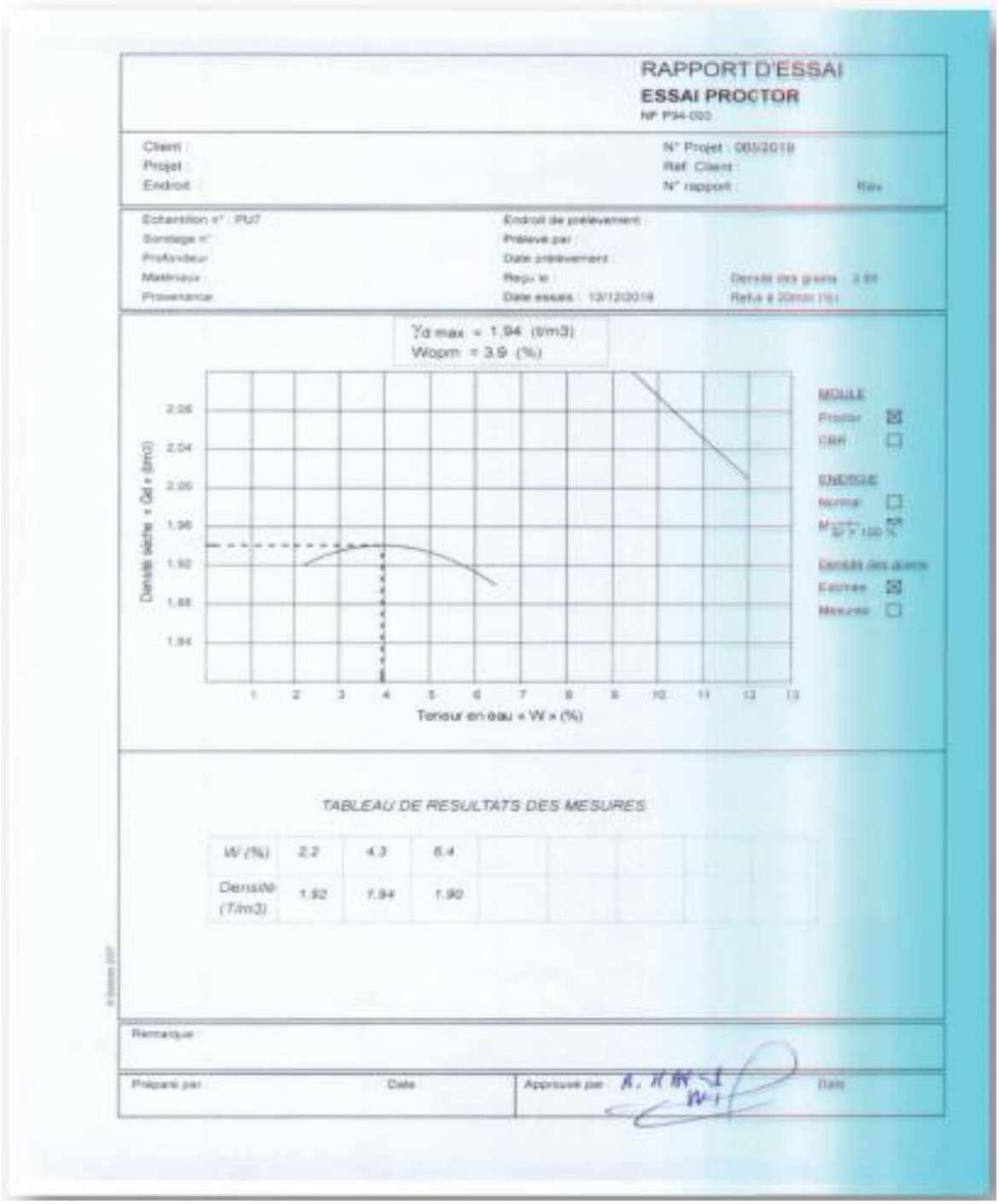
Ralentissement 60 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille correspondant.	
Rappel 30 		Le rappel 30 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30 km/h au franchissement de l'aiguillage.	
Rappel 60 		Le rappel 60 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguillage.	
TIV mobile à distance 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse indiquée par ce tableau, en km/h,au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant	

TIV de rappel 		Confirme au mécanicien de ne pas dépasser ta vitesse indiquée par ce tableau, en km/h, au franchissement de l'aiguillage	
Pancartes Z et R		Repèrent s'il y a lieu, l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée.	 
Signaux utilisés pour les manœuvres			
Le feu blanc (M)		Commandant aumécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h; il autorise le départ en ligne.	
		Commandant aumécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h, mais sur un parcours	

PUITS 06 PK 36+500 (00.50-04.00m)



PUITS 06 PK 36+500 (00.50-04.00m)



RAPPORT D'ESSAI

ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :
Projet :
Endroit :

N° Projet : 065/2019
Réf. Client :
N° rapport :
Rév.

Echantillon n° : PUIT
Sondage n° :
Profondeur :
Matériaux :
Provenance :

Endroit de prélèvement :
Prélevé par :
Date prélèvement :
Reçu le :
Date essais : 12/12/2019

Densité des grains : 2.65
Refus à 20mm (%) :

γd max = 1.94 (t/m3)
Wopm = 3.9 (%)

Densité sèche = Gd = (t/m3)

Teneur en eau = W = (%)

MOULE
Proctor ☒
CBR ☐

ENERGIE
Normal ☐
Modifié ☐

Densité des grains
Estimée ☒
Mesurée ☐

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	2.2	4.3	6.4				
Densité (T/m3)	1.92	1.94	1.90				

Remarque :

Préparé par : Date :

Approuvé par : Date :

Canalisation circulaire partiellement remplie

Q / Qps	V / Vps	h /D	Q / Qps	V / Vps	h /D
0,001	0,14	0,02	0,534	1,02	0,52
0,003	0,22	0,04	0,568	1,03	0,54
0,007	0,29	0,06	0,603	1,05	0,56
0,013	0,35	0,08	0,637	1,06	0,58
0,021	0,40	0,10	0,672	1,07	0,60
0,031	0,45	0,12	0,706	1,08	0,62
0,042	0,50	0,14	0,740	1,09	0,64
0,056	0,54	0,16	0,773	1,10	0,66
0,071	0,58	0,18	0,806	1,11	0,68
0,088	0,62	0,20	0,837	1,12	0,70
0,106	0,65	0,22	0,868	1,13	0,72
0,126	0,68	0,24	0,898	1,13	0,74
0,148	0,72	0,26	0,926	1,14	0,76
0,171	0,75	0,28	0,953	1,14	0,78
0,196	0,78	0,30	0,977	1,14	0,80
0,222	0,80	0,32	1,000	1,14	0,82
0,249	0,83	0,34	1,021	1,14	0,84
0,277	0,86	0,36	1,039	1,14	0,86
0,307	0,88	0,38	1,054	1,13	0,88
0,337	0,90	0,40	1,066	1,12	0,90
0,368	0,92	0,42	1,073	1,12	0,92
0,400	0,94	0,44	1,076	1,10	0,94
0,433	0,96	0,46	1,071	1,09	0,96
0,466	0,98	0,48	1,057	1,06	0,98
0,500	1,00	0,50	1,000	1,00	1,00

LES COORDONNEES DES APPAREILS DE VOIES

N°	Point	Coordonnées		Type d'Appareil	Pk
		X (m)	Y (m)		
1	a	731719.0720	3533976.7512	UIC60 500 1/12 D/D	PK19+231,460
	b	731733.2305	3533991.9841		
	c	731747.3894	3534007.2174		
	d	731748.6240	3534005.9674		
3	a	731781.4047	3534043.7608	UIC60 300 1/9 D/G	PK19322,98
	b	731792.9118	3534056.1943		
	c	731804.0282	3534068.1010		
	d	731802.6152	3534069.2760		
4	a	731807.0783	3534065.2667	UIC60 300 1/9 D/G	PK19356,21
	b	731795.7664	3534053.0964		
	c	731784.4545	3534040.9261		
	d	731785.8678	3534039.7515		
5	a	732542.1243	3534856.0926	UIC60 300 1/9 D/D	PK20+435,88
	b	732553.4359	3534868.2625		
	c	732564.7478	3534880.4328		
	d	732566.0229	3534879.1096		
6	a	732562.1909	3534883.8511	UIC60 300 1/9 D/D	PK20+469,88
	b	732550.8793	3534871.6812		
	c	732539.5674	3534859.5108		
	d	732538.2923	3534860.8341		
8	a	732623.9775	3534950.3264	UIC60 500 1/12 D/G	PK20+560,64
	b	732609.8188	3534935.0933		
	c	732595.6601	3534919.8602		
	d	732596.9955	3534918.7183		

N° de l'Heurtoire	Coordonnées		PK
	X (m)	Y (m)	
H1	731571.8016	3533806.5541	PK19+006,53
H2	732629.2048	3534944.1996	PK20+559,71

N° du GF	Coordonnées		PK
	X (m)	Y (m)	
1	731764.5132	3534022.7608	19+296,09
3	731813.9492	3534081.4268	19+372,72
4	731774.5338	3534027.6007	19+306,46
5	732577.3136	3534891.3004	20+485,63
6	732526.9417	3534848.6989	20+420,13
8	732581.4085	3534901.6472	20+496,00