République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude de la nouvelle ligne électrifiée entre LAGHOUAT et GHARDAIA Du PK 54+000 au PK 73+500 avec la conception de la gare de BELLIL

Présenté par :
SAADOU Wiam Lyna

SELMI Mohamed Selmane

Encadré par :
BESBAS Abderezak

Promotion 2021/2022

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu de nous avoir donné la patience et la force et de nous avoir guidé sur le bon chemin pour arriver à ce moment particulier.

Nous adressons nos remerciements aux personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions notre établissement universitaire et toute l'équipe de l'ENSTP commençant par monsieur K. HAMADI le chef de département d'infrastructures de base ainsi que l'administration du département DIB Madame Makoudi et Madame Bourbia, pour leur travail spectaculaire et leurs conseils afin de nous diriger pour accomplir ce travail.

Nous remercions aussi tous les enseignants de l'ENSTP qui nous ont formés durant notre cursus.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrant M. BESBAS Abderzak qui nous a guidé dans notre travail et nous a aidé à trouver des solutions pour avancer. On le remercie aussi pour sa disponibilité, son écoute et ses précieux conseils.

Nous exprimons nos sincères remerciements à notre professeur Mr MORSLI Rabah qui a fourni énormément d'efforts pour nous orienter tout au long de ce mémoire.

Nous tenons à remercier vivement l'ensemble du personnel de SETIRAIL Algérie, tout particulièrement Mr. Hamza, Mr. Adel, Mr. Adam et Mr. Lateb. Qui nous ont accueillis et sacrifié de leur temps dans le but de partager leur expérience professionnelle, leurs connaissances et leur esprit d'entreprise.

Nous aimerions remercier l'EGTPH Boumia pour leur accueil très chaleureux, et d'avoir eu l'amabilité de partager avec nous une partie de leur expérience, et pour nous avoir acceptés parmi eux et mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement de notre stage de fin d'études.

Un grand merci à nos camarades : MAAZOUZ Houssem, BENHAMADACH Chahinez, ZAABAR Hinda, MEDOUNI Ikram et AHMANE Nihad qui ont été très généreux à nous aider.

Nous souhaitons remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et a tous ceux qui nous ont aidé et qu'ils n'ont pas été cités.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A ma mère **Zahira** *qui a beaucoup sacrifié pour moi. Pour tout l'amour et le soutien qu'elle m'a donnés, pour toutes ses prières qui m'ont poussé à avancer pour arriver là où je suis aujourd'hui,*

A mon père **Douadi** *qui a toujours fait de son mieux pour m'encourager et pour me rendre heureuse. Pour son soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

A mes chers frères, **Anis** *et* **Karem** *pour leur appui et leur encouragement,*

A mon cher **Mehdi** *qui m'a aidé, conseillé et encouragé dans les moments difficiles.*

À ceux que je ne remercie jamais assez,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fuit de votre soutien infaillible, Que dieux vous protège.

Merci d'être toujours là pour moi.

Wiam Lyna

Dédicace

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

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux : mon adorable mère **Souad**.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Mustapha**.

A mes petites sœurs **Hadjer** *et* **Amira** *qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

A toi mon frère **Abderrahmane** *qui m'a toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

A mes amis, Azoun **Mohamed**, *Belhaddad* **Mohamed Zakaria** *et Habchi* **Mohamed Lokmane** *pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

A ma chère et ma meilleure **Ayad Kaouther Anfel** *qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager, aimer et soutenir tout au long de mes études.*

Que Dieu vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

Mohamed Selmane

Résumé :

Le présent projet synthétise l'étude et la conception d'avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique dans la wilaya de LAGHOUAT.

Le tronçon étudié débute du PK 54+000 au PK 73+500 sur un linéaire de 19.5 Km avec une conception d'une gare mixte de la ville de BELLIL.

Le projet a été élaboré suivant les normes internationales UIC (union international de chemin de fer) et les recommandations algériennes de la SNTF (Société nationale de transport ferroviaire) en utilisant le logiciel de conception géométrique Civil 3D 2022 et le logiciel GOOGLE EARTH PRO.

Mot clés : conception et étude. Voie ferrée. Gare mixte.

Abstract:

The hereby project summarizes a study and conception for a detailed design of the project of a new single-track railway line in wilaya of LAGHOUAT.

The studied section starts from PK 54+000 to PK 73+500 over 19.5 Km as well as the conception of a joint station in BELLIL.

This project was drawn up in according to UIC's (international union of railway) standards and the Algerian SNTF's (National rail Transportation Company) recommendations. Using the geometric design software of CIVIL 3D 2022 and the GOOGLE EARTH PRO software.

Key words: conception, design and study. Railway. Joint station.

ملخص

يعد المشروع الذي بين أيدينا دراسة وتصميما لمشروع تمهيدي مفصل لخط السكة الحديدية الجديدة ذات المسار الوحيد في ولاية الأغواط
يمتد المقطع الذي نحن بصدد دراسته من النقطة الكيلومترية 000+54 إلى 500+73 على طول 19.5 كلم, فضلا عن إنشاء محطة مختلطة في مدينة بليل.
سطرنا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية كما وظفنا برنامجي النمذجة الهندسية والحساب CIVIL 3D 2022 و GOOGLE EARTH PRO

الكلمات المفتاحية :التصميم والدراسة، السكك الحديدية، المحطة المختلطة

Liste des symboles et abréviations :

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
Rmin	Rayon minimal	m
Lmin	Longueur minimale de l'alignement droit	m
Dmax	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
Imax	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
Emax	Excès de dévers maximal	mm
Dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	m
Dp	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
Lrp	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	m
Rv min	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
Rp	Résistance de pointe	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
Ic	Indice de consistance	-
γh	Poids volumique humide	t/m^3
γd	Poids volumique sec	t/m^3
Sr	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
Rc	Résistance à la compression	MPa
C'	Cohésion fictive du sol	kPa
φ'	Angle de frottement fictif	°
ES	Equivalent de sable	Cm
A	Superficie du bassin versant	Ha
Qa	Débit d'apport	m^3/s
Qs	Débit de saturation	m^3/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	Ans
I	Intensité de la pluie	H
T	Période de retour de l'averse	m^2
Tc	Temps de concentration	m
Sm	Section mouillée	-
Pm	Périmètre mouillée	M
Kst	Coefficient de rugosité	-
Rh	Rayon hydraulique	m
P	Pente moyenne du bassin versant	-
H	Différence entre la cote moyenne et la cote minimale	m
L	Longueur du bassin versant	Km
Qps	Débit a plein section	m^3/s
m	Pente du fossé	-
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Abréviation Désignation :

APD Avant-Projet Détaillé.
APS Avant-Projet Détaillé.
SNTF Société Nationale des Travaux Ferroviaire.
UIC Union Internationale Chemin de fer.
GTR Guide des Terrassement Routier.
LRS Long Rail Soudé.
BV Bassin versant.
PU Puits de reconnaissance.
SP Sondage pressiométrique.
SC Sondage carotté.
PDL Essai de pénétration dynamique lourd.
QSi Classe du sol (UIC).
Pi Classe de la plateforme.
GC Grave concassée.
GNT Grave non traité.
RN Route Nationale.
CC Chemin Communal.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I.INTRODUCTION ……. 20

CHAPITRE II : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

II.1. INTRODUCTION……. 22
II.2. RÉSEAU FERROVIAIRE ALGÉRIEN……..22
II.3. HISTRORIQUE DES CHEMINS DE FER EN ALGÉRIE…….. 23
II.3.1. Situation de réseau avant l'indépendance……..…23
II.3.2. Les étapes importantes dans le développent du réseau algérien ……..23
II.3.2. Situation du réseau après l'indépendance…….25
II.4. PROGRAMME FERROVIAIRE NATIONAL …….26
II.5. MATÉRIEL ROULANT…….……26
II.6. CONCLUSION…….……...……26

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III.1. INTRODUCTION ……..28
III.2. PRESENATION DE LA ZONE D'ETUDE ....…….28
III.2.1. Localisation……..28
III.2.2. Population et activités……..29
III.2.3. Le relief…….29
III.2.4. Le climat……..…….30
III.2.5. Infrastructures de bases existantes……30
III.3. PRESENTATION DU PROJET ……..31
III.3.1. Importance du projet ……31
III.3.2. Travaux de reconnaissance géotechnique ……...….31
III.3.3. Caractéristiques de notre projet ……..…….31

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1.INTRODUCTION……34
IV.2. TRACE EN PLAN……...……34
IV.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan…...……..…….34
IV.2.2. Les éléments du tracé en plan……..……34
IV.2.2.1. Les alignements…….……34
IV.2.2.2. Le rayon minimal…….……..35
IV.2.2.3. Dévers……35
IV.2.2.4.La longueur de courbe de raccordement (clothoïde)…….…….....35

IV.2.2.5. Récapitulatif des valeurs de paramètres d'axe……..….36
IV.2.2.6. Les résultats de calcul pour l'axe en plan……...……..…..36
IV.2.2.7. Les paramètres du tracé……..…….37
IV.2.2.8. Exemple de calcul d'axe……..……37

IV.3. PROFIL EN LONG……...…39

IV.3.1. Règles a respectées dans le profil en long……..…40
IV.3.2. Les éléments du profil en long……...40
IV.3.2.1. Déclivités maximales…….……..40
IV.3.2.2. Longueur minimale des éléments du profil……..……41
IV.3.2.3. Rayon de raccordement en profil (raccord vertical)…….…...41
IV.3.2.4. Coordination du tracé en plan et du profil en long…….…….42
IV.3.2.5. Application au projet…….……..42
IV.3.2.6. Détermination pratiques du profil en long……..43

IV.4. PROFIL EN TRAVERS …….……44

IV.3.1. Les éléments du profil en travers……44

IV.3.2. Les profils en travers affectés au projet……..45

CHAPITRE V : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

V.1. INTRODUCTION……..47

V.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE……47
V.2.1. Géologie régionale……...……..47
V.2.2. Tectonique régionale……..48
V.2.3. Sismicité de la région……48

V.3.CAMPAGNE D'IVESTIGATION GEOTECHNIQUES……48
V.3.1. Essai in situ……..49
V.3.1.1. Sondages carottés ……49
V.3.1.2. Essai SPT ……50
V.3.1.3. Puits de reconnaissance …….……..51
V.3.1.4. Essai pénétromètre dynamique ……51

V.3.2. Essais au laboratoire ……52
V.3.2.1. Essai de laboratoire sur sondages carottées…….....52
V.3.2.2. Essais de laboratoire sur les prélèvements issus des puits.....54

V.4. CONCLUSION ……...……54

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE

VI.1. INTRODUCTION……..56

VI.2. COUCHE DE BALLAST …….……56

VI.2.1 Contraintes ……..…….56

V.2.2. Rôle du ballast ……..…….57

VI.3. SOUS COUCHE ……..……..…….57

VI.4. PLATEFORME ……..…….……...57

VI.4.1. Classification des sols pour la plateforme ……..57

VI.4.2. Classe de portance de la plate-forme……...58
VI.5. CALCUL D'EPAISSEUR MINIMALE……..59
VI.6. EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE LA COUCHE D'ASSISE……..…60
VI.6.1. Ballast ……...60
VI.6.2. Couche de sous ballast ……..……...60

VI.6.3. Couche de fondation ……..……61

VI.6.4. Couche de forme de qualité S3 ……..61

VI.7. TRAVAUX DES TERRASSEMENTS ET STABILITE DE TALUS……..…..61
VI.7.1. Pentes des talus.....61

VI.7.2. Angle de talus 62

VI.7.3. Disposition Géométrique Pour Stabiliser les talus 62

VI.7.4. Conclusion.....63

CHAPITRE VII : ETUDE HYDRAULIQUE

VII.1. INTRODUCTION 65

VII.2. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE 65
VII.2.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude.....65

VII.2.2. Caractéristiques climatiques.....65

VII.3. BASSINS VERSANTS 66
VII.3.1. Délimitation des bassins versants ……..……...…….....66

VII.3.2. Caractéristiques morphologique des bassins versants ……..…66

VII.4. PLUVIOMETRIE 67

VII.4.1. Acquisition des données.....67

VII.4.2. Les données des stations environnantes.....67

VII.4.3. Estimation des débits d'apport (Qa) 68

VII.5. ÉTUDE HYDRAULIQUE 69
VII.5.1. Assainissement transversal 69
VII.5.1.1. Estimation des débits de saturation 70
VII.5.1.2. Dimensionnement des ouvrages 70
VII.5.1.3. Vérification des conditions d'auto curage 71

VII.5.2. Assainissement longitudinal 71
VII.5.2.1. Dimensionnement des fossés 71
VII.6. CONCLUSION 73

CHAPITRE VIII : ARMEMENT DE LA VOIE

VIII.1. RAIL.....75
VIII.1.1. Définition 74
VIII.1.2. Le type de rail utilisé en Algérie 76
VIII.2. LES LONGS RAILS SOUDES (LRS) 77
VIII.2.1. Définition 77
VIII.2.2. Soudure des LRS 77
VIII.3. LES TRAVERSES.....77
VIII.3.1. Définition.....77
VIII.3.2. Types de traverses 78
VIII.4. LES ATTACHES……78
VIII.4.1. Définition.....78
VIII.4.2. Rôle des attaches 79
VIII.4.3. Types d'attache 79
VIII.5. LES APPAREILS DE VOIE.....79
VIII.5.1. Définition et rôle 79
VIII.5.2. Type de branchement 79

CHAPITRE IX : CONCEPTION DE LA GARE DE BELLIL

IX.1. INTRODUCTION.....83
IX.2. TYPES DE GARES 83
IX.2.1. Gare de voyageurs……...83
IX.2.2. Gares de marchandises 83
IX.2.3. Gare de triage 83
IX.3. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES 83
IX.4. INSTALLATION D'UNE GARE……..……...83
IX.4.1. Quai 83

IX.4.2. Bâtiment voyageurs (B.V) 84

IX.4.3. Auvents et abris.....84
IX.4.4. Les bâtiments à usages divers (B.U.D) 84
IX.4.5. Abords 84

IX.5. CONCEPTION DE LA GARE DE BELLIL 84

IX.5.1. L'emplacement de la gare 84

IX.5.2. Etude du plan de masse de la gare 84

IX.5.3. Le garage franc 84

IX.5.4. La longueur utile des lignes 85

IX.5.5. Un heurtoir 85

IX.5.6. Types des appareils de voie 85

IX.5.7. Déclivité de la gare.....85

IX.6. PLAN DE TRANSPORT 85

IX.6.1. État actuel du réseau du chemin de fer algérien 86

IX.6.2. Estimation de la demande de trafic 86

IX.6.2.1. Présupposition de l'estimation de la demande de trafic 86

IX.6.3. Estimation de la demande de transport ferroviaire 87

IX.6.3.1. Situation démographique actuelle et Estimation démographique 87

IX.6.3.2. Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours ……..87

IX.6.3.3. Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF 88

IX.4. Plan de l'exploitation des trains 88

IX.6.4.1. Caractéristiques principales retenues par l'ANESRIF……89

IX.6.4.2. Performances des matériels roulants …….89

IX.6.5. Evaluation de la capacité d'une ligne ferroviaire …….90

IX.6.6. Evaluation du nombre de circulation de trains …….90

IX.6.6.1. Estimation de la demande de transports servant à l'évaluation du nombre de trains à mettre en circulation……90

IX.6.6.2. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs…….90

IX.6.6.3. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de marchandises ……..…….91

IX.6.6.4. Estimation du nombre de trains pouvant circuler sur la ligne..……91
IX.6.7. Conclusion ……..….91
IX.6.8. Définition des voies nécessaires à l'exploitation……..…….92
IX.6.8.1. Principes de base pour l'étude de gares ……92
IX.6.8.2. Etude de l'implantation de la gare…….92
IX.7. CARACTERISTIQUES DE LA GARE DE BELLIL…….92
IX.8. ASSAINISSEMENT DE LA GARE ……..…….92

CHAPITRE X : ELECTRIFICATION

X.1. INTRODUCTION…….95
X.2. OBJET D'ETUDE ……..……..…….95
X.3. SYSTEME D'ELECTIFICATION …….…….…….95
X.3.1. Système 1X25 KV/50Hz …….95
X.3.2. Architecture du système 1x25 pour l'électrification de la ligne ……..96
X.3.3. Système 2X25Kv …….97
X.3.4. Architecture 2X25Kv pour la ligne …….97
X.4. ANALYSE COMPARATIVES DES DEUX SYSTEMES …….98
X.4.1. Système 1X25 ……..98
X.4.2. Système 2X25……..…….98
X.5. ANALYSE ECONOMIQUE ……..…….99
X.5.1. Le cout du système 1X25KV ……...…….99
X.5.2. Le cout du système 2X25KV ……...…….99
X.5.3. Cout du raccordement HT …….……...…….99
X.5.4. Cout Global de l'électrification de la ligne……100
X.5.5. Conclusion…….……...…….100
X.6. LE RACCORDEMENT HT DES SOUS STATIONS …….100
X.6.1. Les sous stations SONELGAZ HT disponibles…….....…….101
X.6.2. Raccordement pour le Système 1X25KV ……...…….102
X.6.3. Raccordement pour le Système 2X25KV ……...…….102

X.7. LES SOUS STATIONS…….……...…….103

X.7.1. Définition ……...……..……...…….103

X.7.2. Equipements des sous-stations ……...…….103

X.7.3. Définition du poste extérieur …….……..…...…….103

X.7.4. Mode de fonctionnement des sous-stations …….....105

X.7.5. Schéma unifilaire d'une sous station 2X25 KV ……106

X.8. CATENAIRE ……....…….107

X.8.1. Les éléments de la caténaire …….,……...…….107

X.8.1.1. Les supports ……...…….107

X.8.1.2. Le fil de contact ……..……...…….107

X.8.1.3. Le Câble porteur ……..……...……...…….108

X.8.1.4. Circuit de retour …….……..……...…….108

X.8.1.5. Les pendules ……...……...…….108

X.8.1.6. Les Consoles ……...……...…….108

X.8.2. Caractéristique géométrique de la caténaire …….….109

X.9. CONCLUSION…….……...…….109

CHAPITRE XI : SIGNALISATION

XI.1. INTRODUCTION……...…...…….111

XI.2. OBJECT DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE……...…...…….111

XI.3. LES RISQUES FERROVIAIRE……..……...…...…….111

XI.4. LES SIGNAUX……...…...…….112

XI.4.1. Sous-système signalisation ERTMS…….……..……...…...…….115

CHAPITRE XII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1. INTRODUCTION……..…….…....…...…….118

XII.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.....…….118

XII.3. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT....…….118

XII.3.1. Géomorphologie.....…….118

XII.3.2. Climatologie 119
XII.3.3. Milieu Humain 120
XII.3.4. Topographie.....120
XII.3.5. Qualité de l'air 120
XII.3.6. Le milieu biologique 121
XII.4. IDENTIFICATION DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES SUR LE PROJET.....121
XII.4.1. Les contraintes liées au milieu physique 121
XII.4.2 Contraintes relatives à la géomorphologie de la zone d'étude 121
XII.4.3. Contraintes relatives au climat 121
XII.4.4. Contraintes relatives à la Température 121
XII.4.5. Contraintes liées à l'ensablement 122
XII.4.5.1. Phénomène d'ensablement 122
XII.4.5.2. Facteurs qui influent l'ensablement 122
XII.4.5.3. Protection contre l'ensablement 123
XII.5. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET.....125
XII.5.1. Impacts positifs directes 125
XII.5.2. Les impacts positifs indirects 126
XII.5.3. Impacts négatifs 126
XII.6. MESURES PROPOSEES POUR LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT …127
XII.6.1. Sur le milieu physique 127
XII.6.2 Sur le milieu biologique et humain 127
XII.7. CONCLUSION.....128

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF

DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF ……130

CHAPITRE XIV : CONCLUSION

CONCLUSION……133

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV.1 Valeurs de longueur minimale de l'alignement (fiche UIC703)……35

Tableau IV.2 récapitulatif des paramètres du la trace……..……37

Tableau IV.3 Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF……41

Tableau IV.4 Valeurs limites de rayon du profil en long selon référentiel technique de SNTF……41

Tableau V.1 Essais in-situ et les leurs objectifs……..….49

Tableau V.2 Résultats des sondages carottés……..….49

Tableau V.3 Résultats de l'essai SPT……..….51

Tableau V.4 Coordonnées des puits de reconnaissance……..……51

Tableau V.5 Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd……52

Tableau V.6 Essais au laboratoires et leurs objectifs……..…….……52

Tableau V.7 Résultats des essais sur les sondages carottés ……...…….……53

Tableau VI.1 La classe de portance de la plateforme (fiche 719R) …...…….……58

Tableau VI.2 Valeurs retenus pour calcul de l'épaisseur minimal…...…….……..59

Tableau VI.3 Épaisseur des différentes couches…..…….…….59

Tableau VI.4 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695) …...…….…60

Tableau VI.5 Valeurs des angles de talutages en fonction…...……...……63

Tableau VII.1 Caractéristiques des bassins versants…...……67

Tableau VII.2 valeur de <a > pour chaque période de retour…...……...…68

Tableau VII.3 Valeurs de C1, C2, C3 pour calculer le coefficient de ruissellement……..69

Tableau VII.4 Valeurs des débits d'apport…...……...…69

Tableau VII.5 Valeurs de K coefficient de rugosité……...……70

Tableau VII.6 Valeurs des débits de saturation……...……...……70

Tableau VII.7 Vérification de vitesse pour Q=0.1Qps et pour Q=0.01Qps ……..72

Tableau VII.8 Débit de crue de la plateforme et talus ……...……72

Tableau VIII.1 Aiguillages simples typique de réseau Algérien……80

Tableau IX.1 Estimation du nombre de trains pouvant circuler sur la ligne……..91

Tableau IX.2 condition d'implantation et de transport……...……92

Tableau IX.3 Valeurs obtenues pour dimensionnement de la gare de Bellil……...93

Tableau X.1 Des composants HT d'un poste extérieur et leurs rôles ……...…104
Tableau X.2 Des équipements moyens tension MT…….....…104
Tableau X.3 Des modes de fonctionnement des sous-stations……..……105
Tableau XII.1 Températures de la WILAYA de LAGHOUAT…….……...…119
Tableau XII.2 Données climatologiques mensuelles de la Wilaya de Laghouat……..120
Tableau XII.3 Densité de la Population Wilaya de Laghouat……...……120
Tableau XII.4 Concentration des Populations dans la Wilaya de Laghouat……120

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 Carte réseau ferroviaire Algérie ……..22

Figure II.2 Carte développement réseau ferroviaire ……..……..25

Figure III.1 les wilayas limitants Laghouat……..……..……..29

Figure III.2 localisation de la wilaya de Laghouat sur carte……..…..……29

Figure III.3 réseau routier pour la wilaya de Laghouat……..…….…….30

Figure IV.1 Schéma d'un raccordement……..……..……..37

Figure IV.2 La valeur de déclivité en fonction de sa longueur……..…..…41

Figure IV.3 Schéma de raccordement circulaire……42

Figure IV.4 Schéma explicatif d'un raccordement en PL……..43

Figure V.1 Carte géologique du nord d'Afrique……47

Figure V.2 Les zones sismiques en Algérie. ……..…….……..48

Figure VI.1 Structure d'assise ferroviaire……..……...…56

Figure VI.2 Position des couches d'assise……..…….…….…60

Figure VI.3 Inclinaison / pente déblais / remblais……..……62

Figure VII.1 bassins versant……67

Figure VIII.1 Rail Vignole…….……..……..75

Figure VIII.2 Rail Double Bourrelet……..……..75

Figure VIII.3 Rail à Ornière……..……..……..76

Figure VIII.4 Rail Vignole type UIC 60 E1 …...……..……..76

Figure VIII.5 Rail utilisé dans le Projet …...…….……..……..76

Figure VIII.6 Traverse en béton Bi-Bloc……78

Figure VIII.7 Type d'attache……..……..……..79

Figure VIII.8 Branchement Simple……..……..……..80

Figure VIII.9 Branchement double…...……..……..……..81

Figure IX.1 Réseau de chemin de fer en Algérie…...…...……..……86

Figure X.1 Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV……..…96

Figure X.2 Architecture du système d'électrification 1X25Kv pour la ligne ……96

Figure X.3 Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs……..97

Figure X.4 Architecture d'alimentation électrique avec le système 2X25Kv ……97

Figure X.5 Alimentation HT des SST 01-06 depuis les sous stations HT disponibles…….102

Figure X.6 Alimentation HT des SST 01-04 depuis les sous stations HT disponibles…….102

Figure X.7 Fonctionnement avec un transformateur hors service mode dégradé 1……..…105

Figure X.8 Fonctionnement avec un transformateur hors service mode dégradé 2. ……105

Figure X.9 Sous station 2X25 KV……..……..106

Figure X.10 Caténaire……..……...……..107

Figure X.11 Fil de contact 107mm² rainures pour caténaire 1x25Kv…..…….……107

Figure X.12 Composant des consoles……..…….……108

Figure XI.1 Signalisation a main……..……..…….…..112

Figure XI.2 Européen Train Control System (ETCS) ……..……116

Figure XII.1 Répartition des familles des espèces végétales dans la Wilaya de LAGHOUAT……..121

Figure XII.2 Variation de la hauteur en fonction de la vitesse du vent ……..…...123

Figure XII.3 Pin d'Alep……..…….……..124

Figure XII.4 Cyprès vert……..…….……...……..124

Figure XII.5 Parcelle d'Eucalyptus……..……..124

Figure XII.6 Parcelle de Tamarix……..……..……..124

Figure XII.7 Palissade à base de grillage synthétique……125

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures et équipements de transport collectif constituent un élément primordial pour garantir la liberté de déplacement des personnes et des biens, et pour assurer le fonctionnement et le développement de l'économie. Nos priorités lorsque nous commençons à travailler sur un projet, est d'intégrer le transport collectif à l'aménagement du territoire pour créer des communautés dynamiques où il fait bon vivre.

Le transport ferroviaire a trouvé sa place dans le domaine du transport. Il permet d'offrir aux voyageurs des services compétitifs avec les autres modes de transport, sur l'ensemble du territoire, pour répondre à des besoins très diversifiés, il est même devenu un enjeu économique, social et écologique. Il constitue également le moyen de transport le mieux adapté pour le déplacement de gros volumes sur de longues distances.

Dans le but d'améliorer le secteur ferroviaire un programme a été mis par l'Algérie. Ce programme comporte des opérations de renouvellement des voies existantes, de renouvellement et de renforcement des ouvrages d'art anciens, la création de lignes nouvelles, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits de lignes, la modernisation des équipements de signalisation et de télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du matériel roulant, et l'électrification des lignes.

L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 000 km.

RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

CHAPITRE II : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

II.1. INTRODUCTION

Le transport ferroviaire possède un impact très important sur la croissance de la demande de transport. Il est le complément essentiel aux autres modes, Peu polluant, plus sûr, plus économique en terme d'énergie, il s'intègre parfaitement dans l'environnement ; il joue un rôle indiscutable dans l'aménagement du territoire et le désenclavement des zones déshéritées. Dans la compétition des divers moyens de transport, le chemin de fer garde des atouts nombreux et importants et notamment ceux relatifs :

- La régularité et la ponctualité.
- La rapidité, confort et la sécurité.

Ainsi que l'évolution conjoncturelle qui se produit dans la plupart des pays du monde apporte un regain d'intérêt aux voies ferrées pour deux raisons supplémentaires :

- Faible degré de pollution (émission de CO2 à effet de serre).
- Dépense d'énergie primaire nettement inférieure à celle de l'aviation et du transport routier et même légèrement inférieure à celle de la voie d'eau.

Le transport ferroviaire est également reconnu comme un moyen de transport économique et quasi idéal. A cela vient s'ajouter la préoccupation de la protection de l'environnement liée :

- A la congestion (routière/autoroutière) qui accroît la consommation d'énergie, amplifie les nuisances sur l'environnement et affecte l'efficacité économique des systèmes de transport.
- A la pollution.
- Aux dommages corporels et matériels (coûts élevés des accidents de la route).

II.2. RÉSEAU FERROVIAIRE ALGÉRIEN

L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Le chemin de fer Algérien date de la seconde moitié du 19ème siècle. Actuellement, la longueur totale du réseau ferré est de 4439,53 Km dont 3854 km de lignes exploitées, 449 km de lignes en double voie et 323,15 km de lignes électrifiées.

Le réseau ferroviaire est représenté sur la carte ci-après :

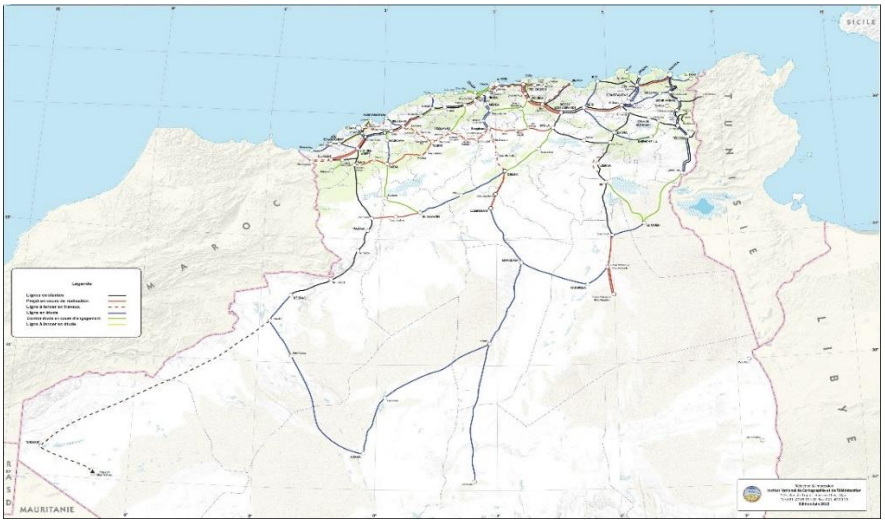


Figure II.1 Carte réseau ferroviaire Algérie

II.3. HISTRORIQUE DES CHEMINS DE FER EN ALGÉRIE

II.3.1. Situation de réseau avant l'indépendance

La configuration géographique de l'Algérie a conduit à un programme de chemin de fer marqué par la longue ligne ouest-est Oran-Alger-Constantine (en partie littorale), des lignes approximativement nord-sud dans les vallées joignant des zones de l'intérieur (maitrise de la présence française, exploitation des richesses naturelles) à cette ligne et à la côte méditerranéenne, de longues lignes de desserte du grand sud (souvent à voies étroites).

Le réseau s'est mis en place progressivement, par tronçons d'une à quelques dizaines de km, réalisés par plusieurs compagnies, avec des écartements divers (1m à 1,44m), parfois modifiés dans le temps. Dès 1833, une première proposition de réseau de chemin de fer a été élaborée par Emile Pereire, non suivi d'effet dans l'immédiat mais dont on retrouvera l'esquisse ultérieurement. En fait la première réalisation est une courte ligne minière à voie métrique de 32,5 km qui reliera Bône à Aïn Mokra (1859- 1867).

II.3.2. Les étapes importantes dans le développement du réseau algérien

a. Programme de 1857 :

Le 8 Avril 1857, la force d'occupation française autorise la construction de 1357 km de lignes. Le 12 Décembre 1859, le chantier de la ligne Alger-Blida fût ouvert. Une entreprise de statut privé, appelée "Compagnie des chemins de fer algériens" est créée.

Cette compagnie obtient en plus de la réalisation de la ligne Alger-Blida, une concession pour la réalisation des lignes Oran-Sig et Constantine-Skikda, qui n'ont pas été réalisées faute de financement. Seule la ligne Alger-Blida a pu être réalisée et ouverte au service voyageur le 8 Septembre 1862.

Au cours de la période 1857-1878, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1365 km, ont été réalisés:

- Annaba - Ain Mokra.
- Annaba - Bouchegouf-Guelma.
- Khroub - Oued Zenati.
- Constantine - Skikda.
- Constantine - Sétif.
- Alger - Thénia.
- Alger - Oran.
- Arzew - La Macta - Mohammedia.
- Mohammedia - Mécheria.
- OuedTlélat - Sidi Bel Abbes.

b. Programme de 1879 :

Un programme de 1747 km de lignes nouvelles a été ajouté au réseau existant. Dans la période 1879-1906, 2035 km de lignes ont été réalisées ou entamées :

- Souk Ahras - Tébessa.
- Le Kouif et embranchement vers la frontière.
- Ain Mokra - Ramdane Djamel.
- Ouled Rahmoune - Khenchela.
- El Guerrah - Biskra.
- Sétif - Thénia avec embranchements vers TiziOuzou, Béjaia et Sour El Ghozlane.
- Blida - Berrouaghia.
- Mostaganem - Relizane-Tiaret.
- Oran - Arzew.
- Sénia - Témouchent.
- Sidi Bel Abbès - Tlemcen-Frontière.
- Tabia - Crampel.
- Méchéria - Béchar.
- Tizi - Mascara.

c. Programme de 1907 :

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km est établi et vient s'ajouter au réseau existant.

Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés :

- Ain Beida - Tébessa.
- El Milia - Jijel.
- Biskra - Touggourt avec embranchements vers Tolga et El Oued.
- Constantine - Oued Athmania.
- Berrouaghia - Djelfa.
- Tiaret-Mahdia - Cl.Bouguerra.
- Mascara-Mecheria avec embranchements vers Relizane.
- Sidi Bel Abbès - Tizi.
- Tlemcen - Beni Saf.
- Mostaganem-La Macta.

Le 27 Septembre 1912 est créée la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) qui prend le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires à l'exception du réseau PLM.

Le 30 Mai 1938, les lignes CFAE et PLM d'intérêt général sont rattachées à la SNCF récemment constituée, et le réseau algérien en devient une région. Le 1er Janvier 1939, est institué un Office des Chemins de fer Algériens (Office CFA).

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers.



Figure II.2 Carte développement réseau ferroviaire

II.3.3. Situation du réseau après l'indépendance

Au lendemain de l'indépendance, le réseau ferroviaire de l'Algérie est passé à 3 900 km (1114 km ont été endommagé pendant la guerre d'indépendance). Ce réseau est jugé long et très important à cette époque. Néanmoins, il a subi, au fil des ans, des détériorations et des dégradations dues essentiellement à la négligence et au manque d'entretien.

Par la suite, il s'est avéré qu'il était dépassé et ne répondait pas aux exigences du pays vu la croissance démographique et les autres défis. Une grande partie du réseau était constituée de lignes à voie étroite.

Au cours de cette période, un large programme d'investissement a été lancé. Il se caractérise surtout par la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes du réseau, les grands aménagements ferroviaires régionaux et l'extension géographique du réseau.

Ce programme a permis les réalisations suivantes :

- Lignes nouvelles
  - Jijel / Ramdane-Djamel (140 km).
  - Dessertes des cimenteries de Beni-Saf (23 km), Saida (23 km) et Ain-Touta (15 km).
- Renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un total de 1400 km de voie.
- Mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).
- Aménagement, modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement).

Dès 1999, une attention particulière a été accordée au secteur ferroviaire par les pouvoirs publics. De nombreux programmes d'investissements ont été inscrits et lancés depuis, notamment ceux de 1999-2005, 2005-2009 et 2009-2014.

L'ensemble de ces programmes vise le développement et la modernisation du réseau existant. Par décision D1b N° 03 2007 du 23 Mai 2007, une nouvelle organisation est adoptée au sein

de la SNTF, visant à répondre aux implications de la création de l'Agence Nationale d'Etudes et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF). Cette réorganisation permettra à la SNTF de se recentrer sur ses métiers de base qui sont le transport de voyageurs et de marchandises.

II.4. PROGRAMME FERROVIAIRE NATIONAL

En 1999, le linéaire en voies ferrées disponible était de 1700 km (2200 km ont été abandonné par l'état algérien car ces lignes ne présentaient pas une grande importance). Aujourd'hui, il s'est hissé au niveau de 4000 km après l'achèvement de certains projets. À la réception des projets de réalisations en cours (2294 km en travaux), il sera de l'ordre de

6000 km. Dès l'achèvement de tout le programme ferroviaire national, avec notamment le maillage de tout le Nord, le linéaire total atteindra les 12.500 km.

Cette stratégie sectorielle a pour objectifs de développer l'offre de transport, pour satisfaire les besoins de mobilité des personnes et des biens, améliorer la qualité de service par la réduction des temps de parcours, répondre aux besoins logistiques des opérateurs économiques, assurer un développement durable tout en privilégiant l'inter- connexion des déférentes modes de transport.

II.5. MATÉRIEL ROULANT

Le parc matériel en exploitation garantit des conditions optimales en termes de sécurité et de performances d'exploitation. Pour le service de voyageurs que soit grandes lignes, régional ou banlieue, le client trouve un moyen de transport qui répond parfaitement à ses aspirations, il est constitué de :

- Voitures voyageurs : 416
- Wagons : 10 873
- Automotrices Electriques : 64
- Autorails Diesel : 17
- Locomotives Diesel : 261
- Locomotives Electriques : 14

II.6. CONCLUSION

Le programme ferroviaire algérien montre le potentiel possible de ce moyen de transport en Algérie, et cela montre l'importance du développement des infrastructures ferroviaire pour pouvoir bénéficier au maximum du transport ferroviaire.

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de développement et l'évolution du réseau ferroviaire d'Algérie, L'agence nationale d'étude et de suivi des réalisations des investissements ferroviaires ANESRIF a constaté un programme important, l'un des projets de ce programme est la boucle Sud/Est, d'un linéaire global de 560 km, elle est composée de quatre lignes principales desservant des wilayas des oasis (Laghouat, Ghardaïa, Ouargla et la nouvelle ville de Hassi-Messaoud).

Cette boucle se compose de trois parties distinctes :

- La ligne Laghouat-Ghardaia.
- La ligne Ghardaia-Ouargla.
- La ligne Ouargla-hassi Messaoud.

Tout en restant dans le concept du développement, le projet a pour but principal de permettre le déplacement des voyageurs et marchandises dans les meilleures conditions entre le sud et le nord. Ainsi, la densification et le rapprochement des villes et pour participer au développement économique, le projet aide à créer des emplois. Rappelons aussi que tous les ports du pays ont été reliés au réseau ferroviaire, ce qui représente des grands pôles industriels dans tout le pays.

Ces projets ferroviaires feront de l'Algérie la porte d'entrée vers l'Afrique et une voie accessible vers la Méditerranée pour les pays africains voisins.

III.2. PRESENATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.2.1. Localisation

La zone d'étude se situe au sud-Est Algérien, dans la wilaya de LAGHOUAT, qui se situe au Nord du Sahara, au pied de l'Atlas saharien. La wilaya se trouve approximativement, à 329 km au sud d'Alger et à 750 m d'altitude. La distance par route entre ces deux villes est estimée à 403 km, Laghouat a une superficie de 25 052 km² et 27 commune, elle est limitée par :

- Au Nord, par la wilaya de Tiaret.
- A l'Est, par la wilaya de Djelfa.
- A l'Ouest, par la wilaya d'El Bayad.
- Au Sud, par la wilaya Ghardaïa.

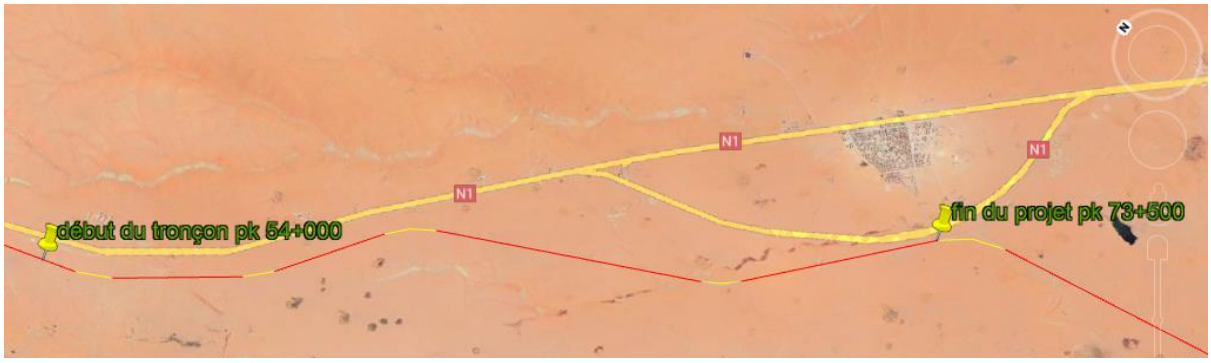




Figure III.1 les wilayas limitants Laghouat



Figure III.2 localisation de la wilaya de Laghouat sur carte

III.2.2. Population et activités

La population totale de la wilaya est estimée à 520 188 habitants (2010), soit une densité de 19 habitants par Km², avec un taux de croissance de 4.3%.

III.2.3. Le relief

La wilaya de Laghouat se situe à plus de 750 mètres d'altitude sur les Hauts Plateaux, elle est traversée par la chaîne de l'Atlas saharien où on trouve des sommets qui dépassent les 2 000 mètres ("Djebel Amour" 2 200 mètres).

Cette wilaya se distingue par deux zones distinctes:

1- La zone de l'Atlas saharien qui est caractérisée par des altitudes allant de 1 000 m à 1 700 m et des pentes de 12,5 à 25 %. Cette zone se trouve au nord-ouest de la wilaya. Elle est constituée de vieux massifs forestiers, de nappes alfatières ainsi que de pacages et parcours.

2- La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux sahariens, caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1 000 m et des pentes de 0 à 3 %.

Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées.

III.2.4. Le climat

Laghouat a un climat continental aride. Cette ville a des hivers courts avec des températures moyennes de 8 °C, caractérisés par des gelées blanches et des étés chauds accompagnée de vents de sable. Juillet est le mois le plus chaud de l'année avec une température de plus de 40° C.

Le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud.

III.2.5. Infrastructures de bases existantes

- **Réseau routier :**
  - Route nationale RN 23 et RN 1.
  - Chemin de wilaya avec une longueur de 394km.
  - Chemins communaux d'une longueur de 513km.

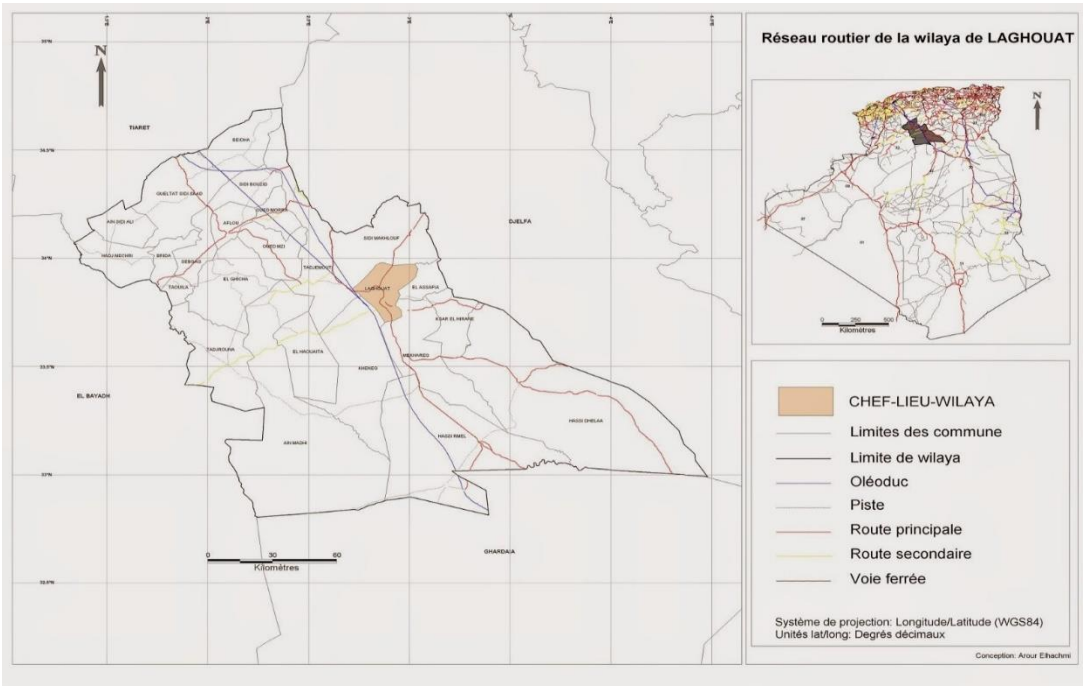


Figure III.3 réseau routier pour la wilaya de Laghouat

- **Infrastructure aéroportuaire :**

2 aéroports à Hassi R'mel, et à Laghouat (aéroport militaire).

- **AEP et Assainissement :**
  - Alimentation en eau potable Taux de raccordement en AEP : 93,9%.
  - Assainissement Taux de raccordement au réseau assainissement : 96%.

III.3. PRESENTATION DU PROJET

Le schéma directeur des transports du pays a inscrit plusieurs projets dans le domaine des infrastructures de transport, notamment les infrastructures ferroviaires en général et en particulier le projet de la boucle du sud.

La ligne Laghouat-Ghardaïa est représentée sur un linéaire de 265 kilomètres, elle fait partie intégrante de la Boucle Sud-Est prenant son origine de la future gare de Laghouat au niveau de la localité Lakhneg du côté Ouest de la ville de Laghouat, pour arriver à la localité de Ghardaïa.

L'ensemble des couloirs identifiés dans la wilaya de Laghouat traversent les localités suivantes : El kheneg, Bellil, Hassi-Rmel.

Le tronçon de notre projet concernant l'étude de la ligne ferroviaire entre Laghouat et Ghardaïa sur une longueur de 19.5 km du PK 54+00 au PK 73+500 et il est situé dans la wilaya de Laghouat.

III.3.1. Importance du projet

La ligne ferroviaire entre la wilaya de Laghouat et Ghardaïa a un impact important sur l'environnement ainsi que sur le développement durable du pays et de la région, en effet, Le transfert des déplacements (personnes et marchandises) de la route vers le rail ce qui entrainera :

- La diminution des flux du trafic routier.
- L'amélioration de la sécurité.
- Gain de temps pour les voyageurs empruntant la ligne.
- Création de postes d'emploi pour les populations locales.
- L'amélioration de la qualité de transports de voyageurs et marchandises entre Laghouat et Ghardaïa et les localités traversées par la ligne ferroviaire.
- Le développement d'autres secteurs : l'industrie, le tourisme, l'habitat, commerce.
- Le développement des activités socio-économiques et la qualité de vie dans les zones désertiques.

III.3.2. Travaux de reconnaissance géotechnique

La campagne géotechnique sur le terrain a été réalisée sur la base d'un programme d'investigations géotechniques approuvé par l'ANESRIF, le long du tracé de notre tronçon de 19.5 Km où il a été réalisé :

- 4 Sondages carottés de 12 m à 20 m de profondeur avec essais SPT chaque trois (03) mètres le long du forage si la lithologie le permet.
- 4 essais de pénétration dynamique.
- 4 puits de reconnaissance.
- Des essais de laboratoires.

III.3.3. Caractéristiques de notre projet

- Ligne à voie unique.
- Caractéristique de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises).
- Mode de traction: diesel / électrique.
- Vitesse max des trains de voyageurs : 220 km/h.
- Vitesse max des trains de marchandises : 100 km/h
- Type de rail : UIC 60
- Type de traverse : BI-BLOC VAX U31.

- Ecartement de la voie (standard) : 1435mm.
- Rampes et pentes: - en pleine voie : maximale 16 ‰ - au niveau des gares : 00 ‰
- Logiciel a utilisé dans l'étude « CIVIL3D 2022 »
- Électrification en 25KV / 50 Hz.
- Charges à l’essieu pour la superstructure de 22.5 tonnes.
- Largeur de la plateforme : 8m.

ETUDE GEOMETRIQUE

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. INTRODUCTION

L'étude géométrique consiste à obtenir un tracé optimal pour assurer le bon roulement ainsi que minimiser les terrassements et rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement.

Les objectifs de cette étude sont :

- Présenter les caractéristiques techniques de la géométrie de la voie.
- Résumer les points essentiels d'une démarche pour les études du tracé général et d'avant- projet.
- Passer en revue des éléments à prendre en compte pour les études du tracé général en fonction des besoins, de la géographie physique, économique, politique et des contraintes de la protection de l'environnement.

IV.2. TRACE EN PLAN

Le tracé en plan est une projection horizontale sur un repère cartésien topographique d'échelle de 1/1000 de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie ferrée. Il est constitué par une succession de segments de droites raccordés entre eux par des arcs de cercles. Dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques :

VR : vitesse des trains rapides des voyageurs.

VL : vitesse des trains lents des marchandises.

IV.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan

Le tracé en plan doit assurer le confort des voyageurs et un compromis économique entre les coûts de maintenance de la voie et ceux du matériel. Pour atteindre ces objectifs, on doit respecter les conditions et les recommandations suivantes :

- Adapter le tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement.

IV.2.2. Les éléments du tracé en plan

IV.2.2.1. Les alignements

Un alignement droit est une courbe de rayon infini (**R=∞**) (de courbure nulle (**ρ=0**)). C'est le plus simple et le plus favorable à l'exploitation. La résistance à l'avancement y est minimale et la vitesse de circulation homogène (en palier). Pour les tracés ferroviaires la

seule limitation pour les alignements droits est la longueur minimale des éléments qui doit respecter la condition suivante :

Tableau IV.1 Valeurs de longueur minimale de l'alignement (fiche UIC703)

Valeur limite normale	$\frac{V}{2}$
Valeur limite exceptionnelle	$\frac{V}{3}$

Où V est la vitesse du train le plus rapide en Km/h

IV.2.2.2. 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 :

$$\boldsymbol{R_{min} = \frac{11.8 * (V_{max}^2 - {V_{min}}^2)}{I + E}}$$

IV.2.2.3. 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 (accélération), 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-à-dire de déverser la voie. Ce déversement de la voie est appelé « devers ».

$$\boldsymbol{D_{max} = \frac{V_{max}^2 \times E_{max} + {V_{min}}^2 \times I_{max}}{V_{max}^2 - {V_{min}}^2}}$$

IV.2.2.4. 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 des véhicules dont l'inertie est importante

$$\boldsymbol{L \geq \frac{D_p * V_{max}}{3.6(dd/dt)_{rec}}}$$

$\boldsymbol{d_p}$: Dévers pratique en (mm).

$(\frac{dd}{dt})_{rec}$: Valeur limitée de variation de dévers en fonction du temps (mm/s).

$\boldsymbol{V_{max}}$: vitesse rapide en (km/h).

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

IV.2.2.5. Récapitulatif des valeurs de paramètres d'axe

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Alignement (m)	110	73.3
Dévers (mm)	160	180
Insuffisance de dévers I (mm)	150	160
Excès de dévers E (mm)	110	130
Variation de dévers dans le temps $\frac{Dd}{Dt}$ (mm/s)	50	60
Variation de dévers dans la longueur $\frac{Dd}{Dl}$ (mm/m)	2.25	2.5
Variation de l'insuffisance de dévers dans le temps $\frac{dI}{dt}$ (mm/s)	75	90

Toutes les valeurs sont calculées suivant SNTF Chapitre 6 géométrie de la voie

IV.2.2.6. Les résultats de calcul pour l'axe en plan

On a : $\boldsymbol{V_{max}}$ = **220 km/h** et $\boldsymbol{V_{mar}}$ = **100 km/h**

$$\boldsymbol{R_{min} = \frac{11.8 * V_{max}}{I+D}} \qquad \textbf{A.N: } \boldsymbol{R_{min} = \frac{11.8*(220^2-100^2)}{160+130}} \textbf{ = 1562m}$$

d_p= C/R avec $\boldsymbol{0.5 < \frac{C}{0.0118\,V^2} \leq 0.7}$ donc : **285.5 < C < 399.784**

On opte pour C=300 qui est un multiple de 15.

IV.2.2.7. Les paramètres du tracé

Pour une vitesse de 220 Km/h, le rayon minimal normal est de 1700 m, correspondant à un dévers max de 160 mm, et d'insuffisance de dévers max de 150 mm. Donc tous les rayons du notre tracé doivent être supérieure à : $\boldsymbol{R_{min}}$**= 1700 m.**

On prend le rayon **R=2600** m comme un exemple pour calculer les dévers et les différents paramètres correspondant à ce dernier.

- Dévers théorique : $d_{th} = \frac{11.8*V_{max}{}^2}{R} = \frac{11.8*220^2}{2600} = 219.66\ mm.$
- Le dévers pratique : $d_p = 1000 * \frac{C}{R} = 1000 * \frac{300}{2600} = 115.38\ mm.$
  On prend d_p= 120 mm
- Insuffisance de dévers : $I = d_{th} - d_p = 219.66 - 150 = 69.66\ mm.$
- Excès de dévers : $E = d_p - \frac{11.8*V_{moy}^2}{R} = 150 - \frac{11.8*100^2}{2600} = 104.61\ mm.$
- La longueur de clothoïde : $L \geq \frac{D_p*V_{max}}{3.6(^{dd}/_{dt})_{rec}} \rightarrow L \geq \frac{150*220}{3.6*50} = 195.5\ m.$
- Variation en fonction du temps $\frac{Dd}{Dt} = \frac{d_p*V_{max}}{3.6*L} = \frac{150*220}{3.6*210} = 43.65\ mm/s.$
- La variation d'insuffisance de dévers : $\frac{dI}{dl} = \frac{I*V_{max}}{3.6*L} = \frac{69.66*220}{3.6*210} = 20.27\ mm/s.$
- Variation en fonction de la longueur $\frac{Dd}{Dl} : \frac{Dd}{Dl} = \frac{3.6*Dd}{V_{max}*Dt} = \frac{3.6*46.88}{220} = 0.76\ mm/m.$

Tableau IV.2 récapitulatif des paramètres du la trace

R	d_{th}	d_p	I	E	L_{rp}	L	$\frac{Dd}{Dt}$	$\frac{dI}{dt}$	$\frac{Dd}{Dl}$ (mm/m)
2600	219.66	120	70	104,276	141	210	50	45,1866	0,81818
2700	190.37	120	67,4	100,414	135	195	50	45,1866	0,81818
3000	211.52	100	60,6	90,3733	122	200	50	45,1866	0,81818

$\frac{Dd}{Dt}$ On la trouve 43.65/47/45 on les prend 50

IV.2.2.8. Exemple de calcul d'axe

Rayon = 2600 ms

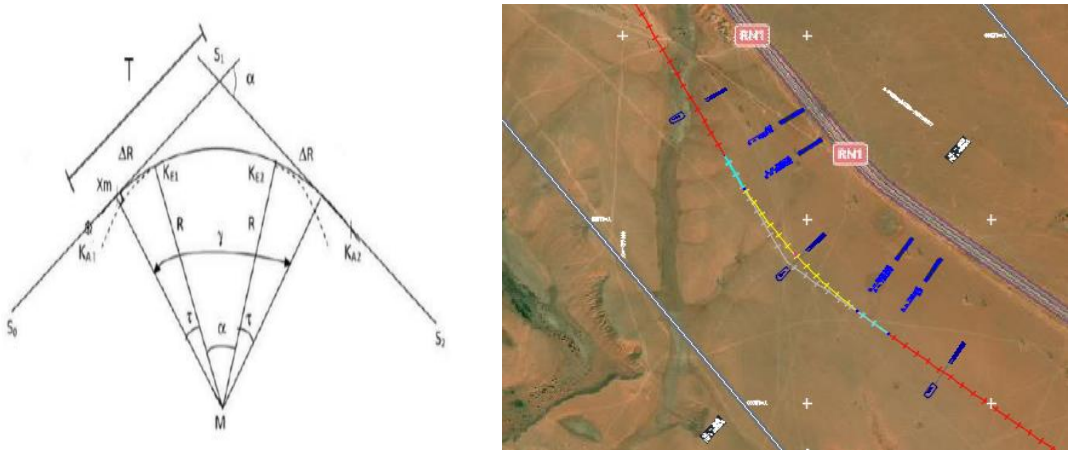


Figure IV.1 Schéma d'un raccordement et l'exemple choisit

$S_0\ (X = 507086.536; Y = 3690410.0386)$

$S_1\ (X = 507482.951; Y = 3689822.8501)$

$S_2\ (X = 507991.7797; Y = 3689426.9804)$

- **Calcul de gisement** :

$|\Delta X_0| = |XS_1 - XS_0| = 396.415\ m > 0$

$|\Delta Y_0| = |YS_1 - YS_0| = 587.188\ m < 0$

$|\Delta X_1| = |XS_2 - XS_1| = 508.83\ m > 0$

$|\Delta Y_1| = |YS_2 - YS_1| = 395.87\ m < 0$

- **Distance** : $S_iS_j = \sqrt{\Delta X_{j-i}{}^2 + \Delta Y_{j-i}{}^2}$

S_0S_1 =708,4738 m.

S_1S_2 =644,6856 m.

On effectue le rapport, en valeur absolue, $\tan g = \frac{\Delta X}{\Delta Y}\ ou\ \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ en divisant le plus petit sur le plus grand. G étant l'angle entre la direction considérée et l'axe des coordonnées le plus proche. On détermine le gisement G par rapport à g :

$G_{s0}^{s1} = 200 - \tan^{-1}\frac{\Delta X_0}{\Delta Y_0}$ =162,196 grad

$G_{s1}^{s2} = 100 + \tan^{-1}\frac{\Delta Y_1}{\Delta X_1}$ =142,092 grad

- **Calcul de l'angle γ :**

γ = $|G_{s1}^{s2} - G_{s0}^{s1}|$ =20.104grad

- **Longueur de la clothoïde :**

$L = \frac{A^2}{R} = \frac{734.847^2}{2600} = 210\ m$

- **Calcul de l'angle τ :**

$\tau = \frac{L * 200}{2\pi R} = \frac{210 * 200}{2 * \pi * 2600} = 2.57\ grad$

- **Calcul de la tangente T :**

$T = XM + (R + \Delta R) * tan\frac{\gamma}{2}$ AVEC : XM = $\frac{L}{2} = 105\ m$ et $\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{210^2}{24*2600} = 0.706\ m$

$T = 105 + (2600 + 0.706) * tan\ {}^{20.104}/_{2}$ =519,0896 m.

- **Calcul de la corde SL :**

$$SL = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2} = \sqrt{L^2 + \left(\frac{L^2}{6 * R}\right)^2} = \sqrt{210^2 + \left(\frac{210^2}{6 * 2600}\right)^2} = 210\ m$$

- **Calcul de l'angle polaire σ :**

$$\sigma = \tan^{-1}\frac{Y_{KE}}{X_{KE}} = \tan^{-1}\frac{L}{\frac{L}{6 * R}} = \tan^{-1}\frac{\frac{210^2}{6 * 2600}}{210} = 99.14\ grad$$

- **Vérification de non chevauchement :**

Pour vérifier la condition de non-chevauchement il faut que : $\tau = 2.57 < \frac{\gamma}{2}$ Vérifié

- **Calcul du α :**

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 20.104 - 2 * 2.57 = 14.964\ Gr$$

- **Calcul de la longueur d'arc**

$$K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi * R * \alpha}{200} = \frac{\pi * 2600 * 14.964}{200} = 611{,}1403$$

- **Calcul des cordonnées des points singuliers :**

Le point k_{a1}

$X_{ka1}=X_{S1}$-T sin G_{S0}^{S1} = 5071925

$Y_{ka1}=Y_{S1}$-T cos G_{S0}^{S1} = 3690253

Le point k_{a2}

$X_{ka2}=X_{S1}$+T sin G_{S1}^{S2} = 5078042

$Y_{ka2}=Y_{S1}$-T cos G_{S1}^{S2} = 3690144

Le point k_{e1}

$X_{ke1}= X_{ka1}+S_L$ sin $(G_{S0}^{S1} + \sigma)$ = 507020.1

$Y_{ke1}= Y_{ka1}+S_L$ cos $(G_{S0}^{S1} + \sigma)$ = 3690086

Le point K_{e2}

$X_{KE2}= X_{KA2}$-SL sin $(G_{S1}^{S2} + \sigma)$ = 507932

$Y_{KE2}= Y_{KA2}$+SL cos $(G_{S1}^{S2} + \sigma)$ = 3690311

En comparant les résultats trouvés et les données dans le listing on trouve que c'est les mêmes.

IV.3. PROFIL EN LONG

Le profil longitudinal est défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Il est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. L'élaboration du profil en long est la tâche la plus importante, par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique où paraitra l'importance des terrassements, soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre tracé en plan et profil en long et l'emplacement des gares.

IV.3.1. Règles a respectées dans le profil en long

L'élaboration de la ligne de projet n'est pas arbitraire mais elle doit se baser sur des recommandations et des règles qui assurent la stabilité, la sécurité, le confort et l'évacuation des eaux. Parmi ces conditions les suivantes :

- Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- Equilibre entre le volume des déblais et le volume des remblais.
- Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- Evité les angles sortant en déblai.
- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- Ne pas dépasser une pente maximale ou rayon minimale préconisée par les règlements.
- La déclivité dans les gares est 0%
- Eviter le passage par les oueds.
- Eviter les ouvrages d'art.

IV.3.2. Les éléments du profil en long

IV.3.2.1. Déclivités maximales

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommée « une pente » pour les descentes « une rampe » pour les montées. Ces dernières doivent respecter les recommandations exigées par le référentiel du SNTF en raison de sécurité et de confort tel que :

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

Pente : c'est la partie du tracé qui définit la descente.

Rampe : c'est la partie du tracé qui définit la montée.

Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale

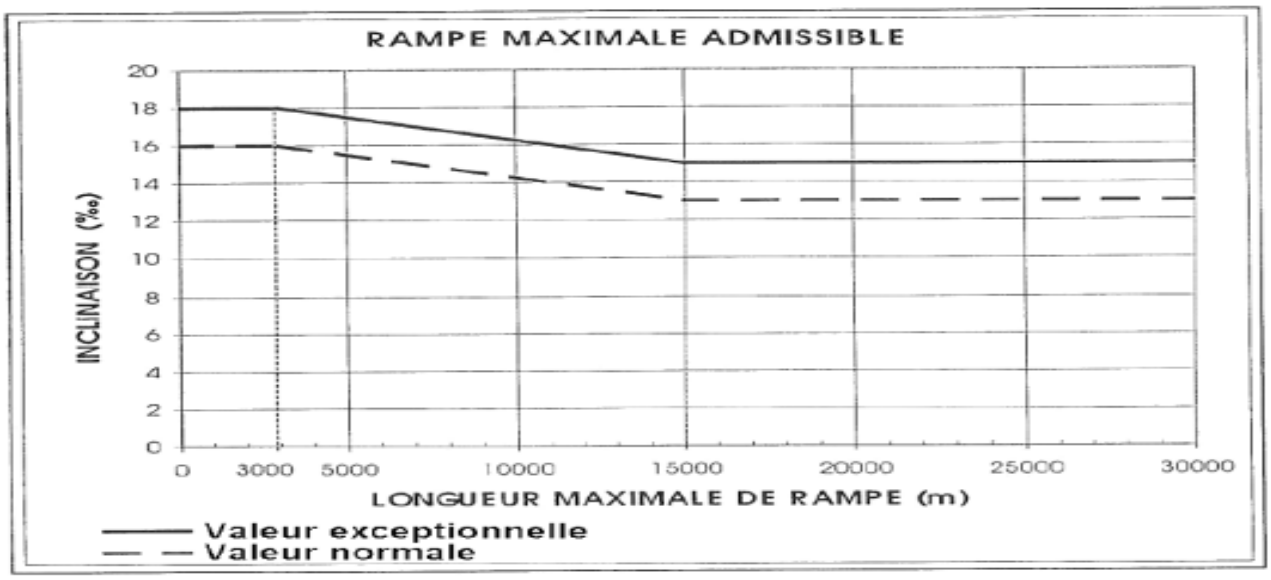


Figure IV.2 La valeur de déclivité en fonction de sa longueur

IV.3.2.2. Longueur minimale des éléments du profil

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux changements successifs des déclivités, un temps assez long doit se passer pour permettre aux suspensions d'amortir les oscillations, Ce temps est résumé dans une longueur bien définit :

Tableau IV.3 Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF

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

$\boldsymbol{V_{max}}$ Étant la vitesse du train le plus rapide exprimée en km/h.

IV.3.2.3. Rayon de raccordement en profil (raccord vertical)

C'est un arc de cercle qui assure la liaison entre deux déclivités de la ligne rouge pour le confort des voyageurs et pour limiter les accélérations verticales des trains. Dans la mesure du possible, la distance de 30 mètres entre l'extrémité d'un raccordement vertical et l'extrémité de la clothoïde est à respecter, cela facilitera la maintenance de la ligne. Le rayon minimal de raccordement est donné fonction de la vitesse V dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 Valeurs limites de rayon du profil en long selon référentiel technique de SNTF

Valeur minimale normale	Valeur minimale exceptionnel
$0{,}35V_{max}^2 = 16940$ m	$0{,}25V_{max}^2 = 12100$ m

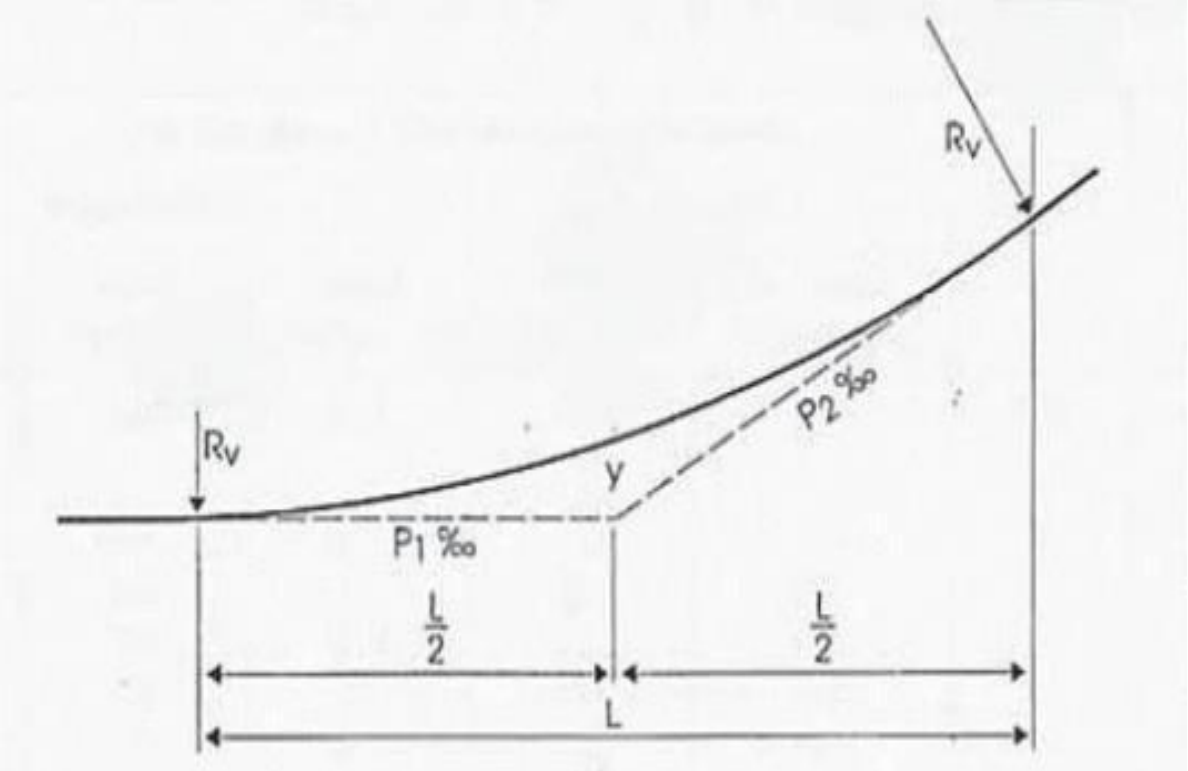


Figure IV.3 Schéma de raccordement circulaire

IV.3.2.4. Coordination du tracé en plan et du profil en long

Il est nécessaire de veiller à la bonne coordination du profil en long et du tracé en plan, pour cela on doit :

- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long avec les rayons en tracé en plan.
- Ne pas placer une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Eviter la coïncidence entre un raccordement progressif et un rayon vertical.

IV.3.2.5. Application au projet

- La déclivité maximale est de 16‰.
- La longueur minimale de la déclivité maximale est de 3000 m.
- Rayon admissible en raccordements R_{min}=16940 m.
- La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil est $\frac{V_{max}}{2} = \frac{220}{2} = 110\ m$.

IV.3.2.6. Détermination pratiques du profil en long

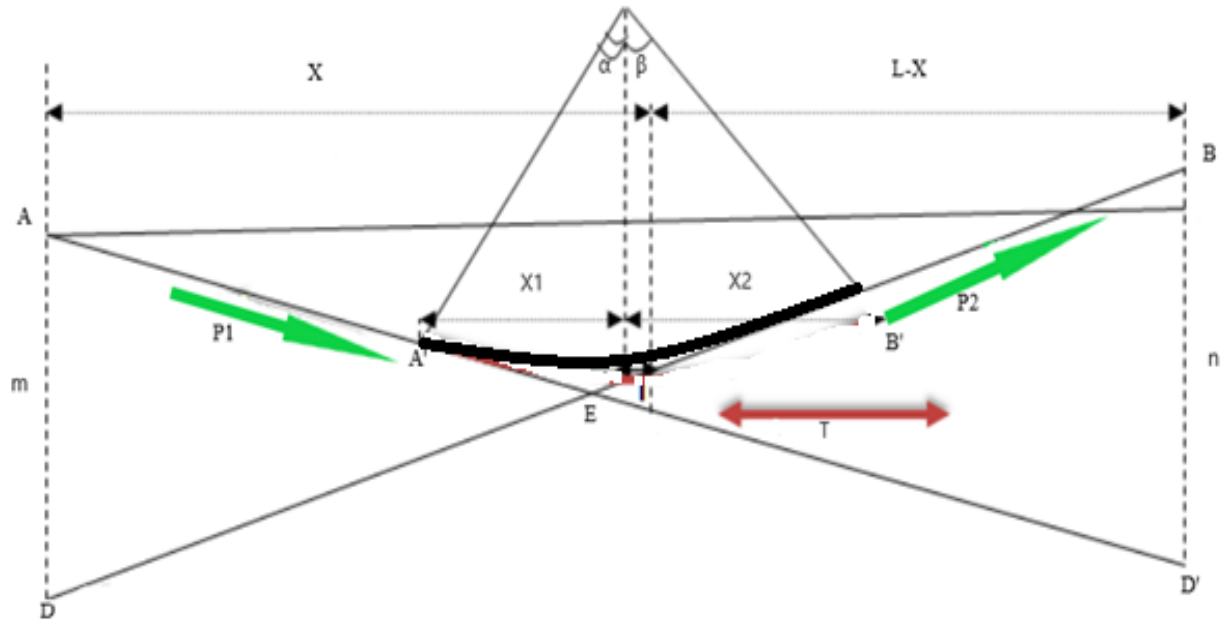


Figure IV.4 Schéma explicatif d'un raccordement en PL

A' et B': Extrémités du raccordement

T: Tangente de part et d'autre du sommet

A et B: Deux points connus sur P1 et P2

X : Distance entre le sommet et un point A sur P1

α+β : Angle de variation, ou de changement de direction

E : Sommet ou point de changement de déclivité

L : Distance entre les deux points A et B.

- **Calcul pratique :**

A (PM=2600 m; Z=814.40m)

E (PM=2762 m; Z= 813.24m)

B (PM=2925 m; Z=813.64m)

R=17000 m

- **Calcul des pentes (P) :**

P1=$\frac{\Delta Z1}{\Delta S1}$ =-11.3‰

P2=$\frac{\Delta Z2}{\Delta S2}$ =6.6‰

- **Calcul de tangente T :**

T= R× (P1+P2) /2=17000× (11.3x10^{-4}+6.6x10^{-4}) /2=15,215m.

- **Calcul de la flèche F :**

F=T^2/2R= $(15,215)^2$/2×17000=0,0068m.

- **Calcul de la cote de point au milieu de raccordement parabolique :**

Z_G= 134.226– 0.019 = 812,233 m.

- **Calcul des PK et cotes des points A' et B' :**

Le point A' $\begin{cases} Z_{A'} = Z_E + TxP_1 = \ 813.35\ m \\ P_{KA'} = S_E - T = 2746.785m \end{cases}$

Le point B' $\begin{cases} Z_{B'} = Z_E + TxP_2 = 813{,}3404\ m \\ P_{KB'} = S_E + T = 2777.22\ m \end{cases}$

En comparant les résultats trouvés et les données dans le listing on trouve que c'est les mêmes.

IV.4. PROFIL EN TRAVERS

Après les études du tracé en plan et du tracé en élévation qui recherchaient essentiellement l'évolution de l'axe de la voie, il s'agit maintenant de définir le 3éme élément d'un projet ferroviaire qui est le profil en travers. Ce dernier est un levé perpendiculaire à l'axe de la voie sur un plan vertical, il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement. Il permet de calculer les paramètres suivants :

- La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements.
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel.
- Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

Il existe deux types de profil en travers dont le premier est le profil en travers type qui permet de calculer des terrassements, le deuxième est le profil en travers courant qui est une pièce de base dessinée avec des distances variables.

IV.4.1. Les éléments du profil en travers

- **La plate-forme** : C'est l'élément sur laquelle se repose la voie, elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.

- **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **L'emprise :** La surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est à dire dans les limites du domaine public, comprend la plate-forme, les talus et les fossés ou ouvrages.
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

- **La berme :** Elle supporte d'éventuels panneaux de signalisation et équipements (glissières de sécurités). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé** : Ce sont les excavations aménagées latéralement de part et d'autre de la plate-forme, destinés à assainir la plate-forme et de talus en collectant les eaux de ruissellement.

IV.4.2. Les profils en travers affectés au projet

Pour notre projet on caractérise nos profiles en travers comme se suit :

Type de ligne	Voie unique mixte électrifié
Ecartement de la voie	1.435m
Largeurs de la plate-forme	8m
Pente latérale de la plate-forme	4%
Pente latérale de la couche du ballast	3H/2V
Epaisseur du ballast	30cm
Epaisseur du sous-ballast	20cm
Epaisseur de la couche de fondation	15cm
Pentes profils courants	Déblais/Remblais : 3H/2V
Fossé trapézoïdale	H= 0.5m b= 0.5m

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

CHAPITRE V : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

V.1. INTRODUCTION

L'étude géologique et géotechnique est très importante pour une meilleure réalisation d'un projet ferroviaire, il est nécessaire aussi d'avoir une connaissance précise sur le sous-sol, de son comportement, de sa composition et de sa nature et d'identifier les caractéristiques de la zone d'étude avant l'implantation du projet.

Ce chapitre se divise en deux parties, la première concerne les caractéristiques géologiques et sismiques de la zone d'étude. La deuxième partie traite l'étude géotechnique et tous les essais réalisés in situ et au laboratoires.

V.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE

V.2.1. Géologie régionale

La zone d'étude se situe au sud-Est Algérien, dans la wilaya de LAGHOUAT, qui se situe au Nord du Sahara, au pied de l'Atlas saharien. Ce dernier est limité au Nord par la faille Nord Atlasique et au Sud par la faille Sud Atlasique. En se dirigeant de l'Est vers l'Ouest, les formations géologiques de l'Atlas Saharien deviennent de plus en plus anciennes et en même temps on assiste à un passage progressif du milieu marin au milieu continental pour les mêmes terrains.

Géographiquement l'Atlas Saharien est considéré comme le domaine de transition entre le domaine des Hauts Plateaux au Nord et le domaine saharien au Sud. Il est constitué par une chaîne montagneuse dont les caractéristiques sont fondamentalement semblables sur toute l'étendue du Maroc au Nemmemcha.

Orographiquement, la chaine de l'Atlas Saharien Central est caractérisée par des crêtes qui atteignent en moyenne 1400 à 1500 m; les altitudes maximums près d'Aflou s'élèvent à 1721m (Djebel Guern Arif), 1707 m (Djebel Sid Okba) et 1583 m (Djebel Zlag).

La région d'étude se compose essentiellement de la lithologie suivante : le trias, le jurassique, le crétacé, le tertiaire et le quaternaire.

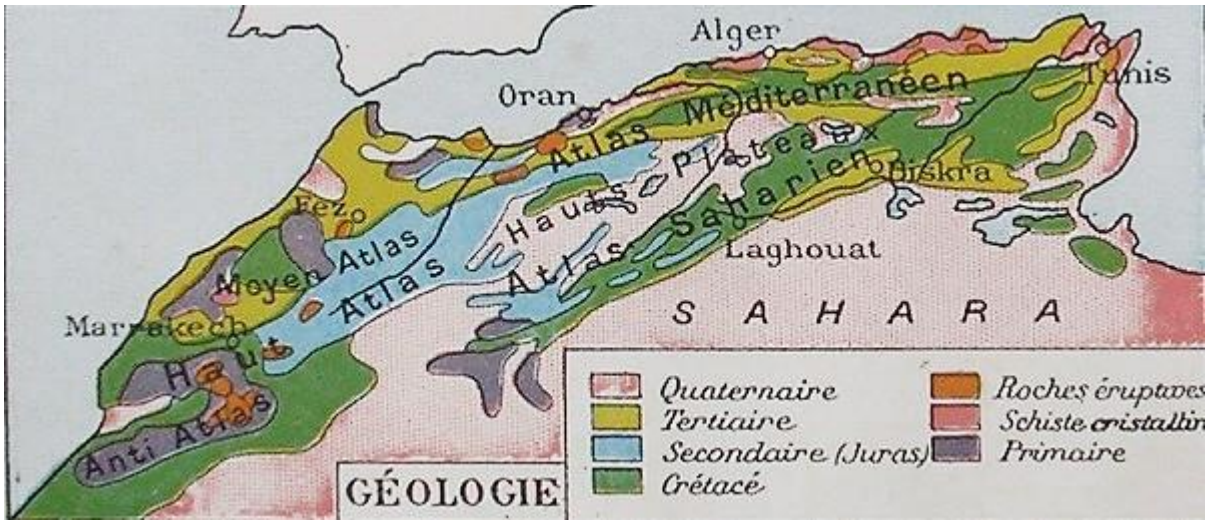


Figure V.1 Carte géologique du nord d'Afrique

V.2.2. Tectonique régionale

Le domaine de la plate-forme saharienne représente un grand bassin sédimentaire dont la zone la plus profonde est située dans la région des chotts (centre du bassin), il correspond à des immenses séries marines et continentales d'âge Crétacé et Tertiaire, reposant en discordance angulaire sur un socle d'âge Primaire plissé. La tectonique du bassin est relativement stable et moins prononcée.

V.2.3. Sismicité de la région

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de séismicité croissante, définies sur la carte des zones de séismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II : sismicité moyenne.
- Zone III : sismicité élevée.

La région étudiée à savoir la wilaya de **Laghouat** est caractérisée par une sismicité faible **(zone I).**

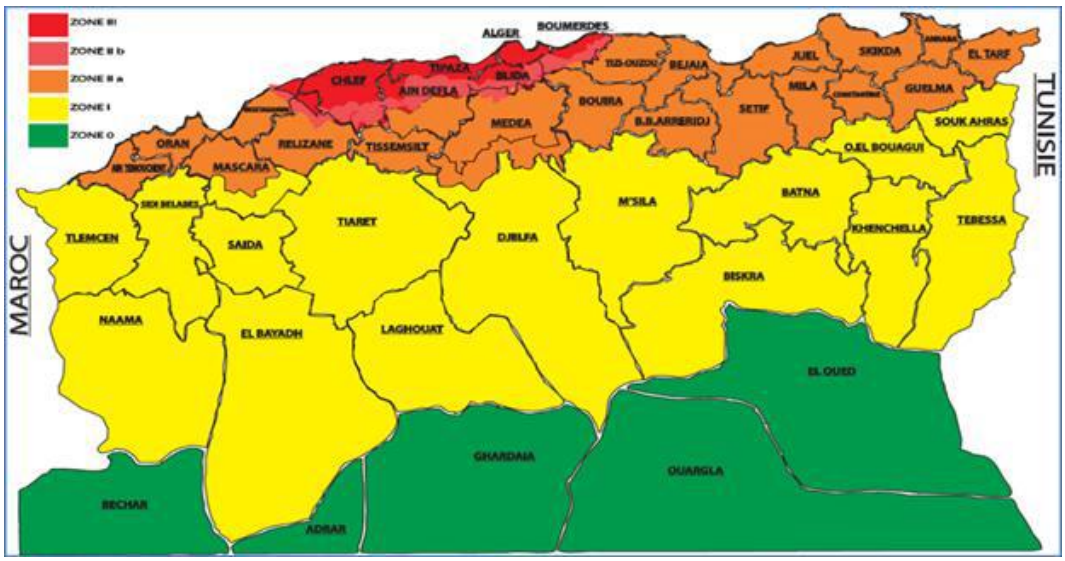


Figure V.2 Les zones sismiques en Algérie.

V.3. CAMPAGNE D'IVESTIGATION GEOTECHNIQUES

Ce sont des reconnaissances qui permet de définir l'ensemble des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains en place. Le but initial de ces investigations est de fournir les éléments nécessaires pour les études et les travaux de terrassement et fondation. L'ensemble des travaux réalisés et les résultats obtenus de la campagne géotechnique ont été synthétisés et exposés de telle manière à déterminer :

- La nature et les propriétés des sols en place avec leur classification en basant sur le GTR et le UIC;
- Le dimensionnement de la structure de la plateforme ferroviaire;
- L'identification et la localisation des problèmes et/ou des contraintes techniques du point de vue géologique rencontrés le long du tracé;

- La définition des zones d'emprunt, ainsi que les carrières pour granulats et ballast;
- Les propositions relatives aux modes de fondations des différents ouvrages à construire.

V.3.1. Essai in situ

Le tableau ci-dessous, présente l'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie avec leurs objectifs :

Tableau V.1 Essais in-situ et les leurs objectifs

N	Essai	Objectifs
1	Sondage Carotté	-Identification du sol. -Distinction des types de formation. -Prélèvement des échantillons.
2	Essais de pénétration dynamique	-Détermination de la succession des différentes couches de sol. -Capacité portante du sol
3	Les puits de reconnaissance	-Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés.
4	Essai SPT	-tester la résistance du sol, tout en prélevant des échantillons remaniés du terrain. -connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents.

V.3.1.1. Sondages carottés

Des sondages carottés de quinze (15.00 m) à vingt mètres (20.00 m) de profondeur ont été réalisés dans le but de saisir convenablement la succession stratigraphique et les caractéristiques géotechniques des sols existants et de définir plus particulièrement le niveau lithologique susceptible de constituer une bonne assise pour les fondations projetées.

Résultats des Sondages Carottés

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.2 Résultats des sondages carottés

Sondage	PK	Profondeur	matériaux
X= 505403 Y = 3692992	55+300	00.00-00.15 00.15-06.30 06.30-15.00	Tout-venant de reg. Encroûtement calcaire graveleux à caillouteux à intercalations rocheuses Grès tendre à concrétions calcaire, de couleur rougeâtre.
X= 506903 Y = 3690667	58+100	00.00-00.50 00.50-08.00 08.00-12.00	Tout-venant de reg. Encroûtement calcaire graveleux à caillouteux à intercalations rocheuses Grès tendre à concrétions calcaire, de couleur rougeâtre.
X=513392 et Y = 3682727	68+600	00.00-00.40	Tout-venant de reg mélangé à la terre végétale, composé de limon sableux à argileux, brunâtre.

		00.40-06.50	Encroûtement calcaire graveleux à caillouto-sableux par endroit, friable et fracturée, grise blanchâtre à rose rougeâtre, enfermant un passage rocheux entre (1.00-1.40m).
		06.50-20.00	Sable grésifié, légèrement limono-argileux, renferment des à concrétions calcaire, de couleur grise jaunâtre ; Entre (13.25-17.70m) : il se développe, en donnant un pouding à élément de sphérules Carbonaté de 1 à 2 cm de diamètre emballé dans un ciment sablo-argileux rougeâtre, fracturé et friable par endroit, raid à pierreux au-delà de 17.70m et à dominance de calcaire.
X=517295 et Y = 3679200	73+900	00.00-02.00	Tout-venant d'Oued, composé de limon sableux à argileux, brunâtre.
		02.00-07.00	Encroûtement calcaire gravelo-caillouteuse friable et fracturée, beige.
		07.00-14.60	Grès calcareux, souvent fracturés, et friable, grise jaunâtre, récupéré de sous forme de fragments désagrégés entre (07.00-11.10.50m).
		14.60-15.50	Grès tendre, légèrement limono-argileux, de couleur grise jaunâtre.
		15.50-18.25	Pouding à élément de sphérules carbonaté de 1 à 3 cm de diamètre emballé dans un ciment sablo-argileux rougeâtre, fracturé et friable par endroit, raid à pierreux.
		18.25-20.00	Grès tendre, légèrement limono-argileux, de couleur grise jaunâtre

V.3.1.2. Essai SPT

Le (**SPT**) est un essai de pénétration dynamique qui permet de tester la résistance du sol, tout en prélevant des échantillons remaniés du terrain.
Les essais SPT effectués permettent de connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents traversés moyennant les tableaux et abaques extraits des normes et méthodes admises.

Pour le sable, la compacité joue un rôle décisif dans la capacité portante et le tassement d'une fondation.

Les résultats obtenus par l'intermédiaire des essais réalisés sont consignés dans le tableau ci-après :

Tableau V.3 Résultats de l'essai SPT

Sondage	Reference de l'essai	type	Coordonnés	Résultats de SPT	Observation
Pk 55+300	F-14-L-G	PRO	X= 505403 Y = 3692992	Refus a 06.00	Sols très compacts
Pk 58+100	F-15-L-G	Plateforme	X= 506903 Y = 3690667	Refus a 6.00-06.13	Sols très compacts
Pk 68+600	F-16-L-G	PRA	X=513392 Y = 3682727	Refus a 06.50	Sols très compacts
Pk 73+900	F-17-L-G	PRA	X=517295 Y = 3679200	Refus a 04.50-04.62	Sols compacts

V.3.1.3. Puits de reconnaissance

Implantations des puits de reconnaissance :

Comme prévu dans le programme d'investigations géotechniques, cinquante (04) puits de reconnaissances ont été réalisés jusqu'à une profondeur de trois mètres (03.00m) /refus
Les coordonnées de ces puits sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau V.4 Coordonnées des puits de reconnaissance

Pk	Coordonnées	Reference de puit	lithologie
53+600	X=504851 Y=3694600	PU16 L-GH	De 00.00m a 00.20m : Tout venant de reg. De 00.20m a 01.10m : Encroûtement calcaire à quelques blocs rocheux.
61+400	X=509389 Y=3688522	PU17 L-GH	De 00.00m a 00.20m : Tout venant de reg. De 00.20m a 00.50m : Encroûtement calcaire assez bien compact.
66+000	X=512152 Y=3685013	PU18 L-GH	De 00.00m a 00.20m : Tout venant de reg. De 00.20m a 00.50m : Roche calcaire
71+200	X=515193 Y=3680895	PU19 L-GH	De 00.00m a 00.20m : Tout venant de reg. De 00.20m a 00.50m : Encroutement calcaire assez bien compact.

V.3.1.4. Essai pénétromètre dynamique (selon la norme NF P 94-114)

L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol, par battage et de manière quasi-continue, un train de tiges lisses muni à son extrémité d'une pointe débordante. Le nombre de coups de mouton correspondant à un enfoncement donné est noté au fur et à mesure de la pénétration de la pointe dans le sol.

Donc c'est un appareil capable de déterminer directement une résistance limite de sol, dits par abréviation PDL.

Tableau V.5 Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd

Reference de puits	Pk ouvrage	coordonnées
PDL 14 L-GH	61+400	X= 509389 Y= 3688552
PDL 15 L-GH	66+000	X=512152 Y=3685013
PDL 16 L-GH	71+200	X= 515193 Y= 3680895
PDL 17 L-GH	78+800	X= 518762 Y= 3674614

V.3.2. Essais au laboratoire

Les essais de laboratoire ont été effectués sur les échantillons remaniés et intacts prélevés par le carottier de la sondeuse ainsi que par la pelle mécanique; la récupération pendant la phase de carottage était plus au moins difficile pour les formations traversées constituées d'encroutement calcaire et de blocs rocheux fracturés.

V.3.2.1. Essai de laboratoire sur sondages carottées

Le tableau suivant montre les essais réalisés au laboratoires sur les sondages carottés et leurs objectifs :

Tableau V.6 Essais au laboratoires et leurs objectifs

Essai	Objectifs
Analyse granulométrique et sédimentométrique	Classification des sols et dimensionnement de la plateforme
Détermination de la teneur en eau	Déterminations des paramètres mécanique pour l'étude de stabilité des remblais/déblais
Essais de cisaillement	Etude du Tassement des sols
Essai de compressibilité à l'œdomètre	Déterminations des paramètres mécanique pour l'étude de stabilité des remblais/déblais

Résultats des essais sur les sondages carottés :

Tableau V.7 Résultats des essais sur les sondages carottés

Essais		**Sondage / Profondeur**										
		F14 09,7-10,00	**F14 13,2 - 13,5**	**F15 3.00-03.30**	**F15 09.00-09.30**	**F16 01,50-02,00**	**F16 07,00-07,25**	**F16 15.0-15.30**	**F17 4,30-4,40**	**F17 08.0-08.20**	**F17 14.1-14.45**	**F17 17.1-17.50**
Analyse granulométrique	80mm	Impossible		/	/	/	/	/	/	/	/	/
	50mm			/	/	/	/	/	/	/	/	/
	31,5mm			/	/	/	/	/	/	/	/	/
	20mm			/	/	/	/	/	/	/	/	/
	10mm			/	/	/	/	/	/	/	/	/
	05mm			/	/	97,39	53.88	/	71.86	/	/	/
	02mm			/	/	96,86	35.06	/	59.46	/	/	/
	01mm			/	/	96.57	31.66	/	52.23	/	/	/
	0.4mm			/	/	96.21	30.66	/	45.88	/	/	/
	0,2mm			/	/	93.23	29.4	/	39.26	/	/	/
	0,1mm			/	/	92.5	29.09	/	38.59	/	/	/
	0,08mm			/	/	91.97	28.94	/	38.09	/	/	/
Analyse sedimentometrique	0.025µ			/	/	74.38	/	/	31.15	/	/	/
	0.008µ	Impossible		/	/	51.5	/	/	15.1	/	/	/
	0.002µ			/	/	30.82	/	/	6.34	/	/	/
Teneur en eau %		15.73	5.89	5.24	4.14	5	2.7	/	6.21	/	/	/
Analyse chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	/	/	Traces	/	Traces	/	/	Traces	/	/	/
	Chlorures (NaCl)			0.58 %		0.41 %			0.35 %			
	Carbonates (CaCO3)			72.42%		25.86 %			73.91%			
	Anhydride carbonique			31.87%		11.38 %			32.53%			
	MO			2.20		0.2%			NEANT			
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	*	**	/	/	/	***	/	/	/	/	/
	ϕ'											

Impossible : Impossible (des concrétions qui ne se dissous pas dans l'eau**.**
* : Impossible (échantillon qui s'effrite à la confection).
** : Impossible (endommagé non intact).
*** : Echantillon non conforme (fissuré et induré).

V.3.2.2. Essais de laboratoire sur les prélèvements issus des puits

- **Analyse granulométrique et sédimentométrique :**

Les analyses granulométriques effectuées sur les échantillons prélevés au niveau des puits montrent que les terrains composant le sol de fondation sont constitués par un sable grossier dont le pourcentage des éléments inférieur à 0.08mm n'excède jamais les 30%.

- **Analyse chimique :**

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons des puits de reconnaissances consistent en la détermination des teneurs du sol en : insolubles, sulfates **(CaSO4, 2H2O),** carbonates **(CaCO3)** et Chlorures **(Na Cl)**. Les résultats obtenus ont montré qu'on a un sol qui ne présente pas de risque particulier d'agressivité au béton via les sulfates de calcium qui sont très peu présent, ni via la matière organique (quasi nulle).

V.4. CONCLUSION

La description géologique des sondages carottés se trouvant sur l'itinéraire retenu pour la réalisation du projet de la nouvelle ligne ferroviaire situé entre **PK 54+000 et PK 73+500** ; montre que :

- L'allure générale du tronçon de l'étude est localisée dans une zone relativement plate avec quelques zones classées accidentées.
- Sur le plan tectonique les terrains traversés sont stables.
- La description lithologique des sondages carottés montre que le sol de fondation est constitué du haut vers le bas par :

- Une couche de surface caillouteuse communément appelée dans la région **un tout venant de Reg.** Idem pour la couche intermédiaire se trouvant entre la surface et le substratum.
- Le substratum, souvent au-dessous d'une couche d'encroutement ou rarement sous une couche de calcaire conglomératique diffère d'un linéaire à un autre. Il est caractérisé au-delà de la zone d'étude par une couche **de grés tendre** (parfois dure) **renfermant des concrétions calcaires** de couleur rougeâtre.

- Les résultats des essais SPT effectués sur les sondages carottés à différentes profondeurs nous orientent à conclure que le sol investigués est généralement de consistance dure à très dure compte tenue des refus systématiques obtenus sur chaque essai (avec très peu de cas d'exceptions).

- Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés, indiquent que le sol de fondation sur la majorité des échantillons testés ne présente pas de risque particulier d'agressivité au béton via les sulfates de calcium qui sont très peu présent, ni via la matière organique (quasi nulle).

- Les Visites effectuées sur le site ont confirmé aussi que l'état actuel des lieux représente un terrain relativement plat avec quelques massifs rocheux à déblayer/franchir, ne suscitant aucun risque d'instabilité de type glissement de terrain. Néanmoins, il est toujours utile de rappeler la nécessité de réaliser le projet en question suivant les précautions d'usage ainsi que les règles de l'art.

-

DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE

VI.1. INTRODUCTION

Une structure d'assise ferroviaire est constituée par plusieurs couches de matériaux différents dont les rôles complémentaires contribuent à assurer le bon fonctionnement de la voie vis-à-vis la rigidité, tenue de nivellement et drainage.

La couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast). Leurs rôles principaux sont :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rails – Roue.
- La répartition des charges provenant des traversés d'une manière presque uniforme sur la plateforme.
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée.
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

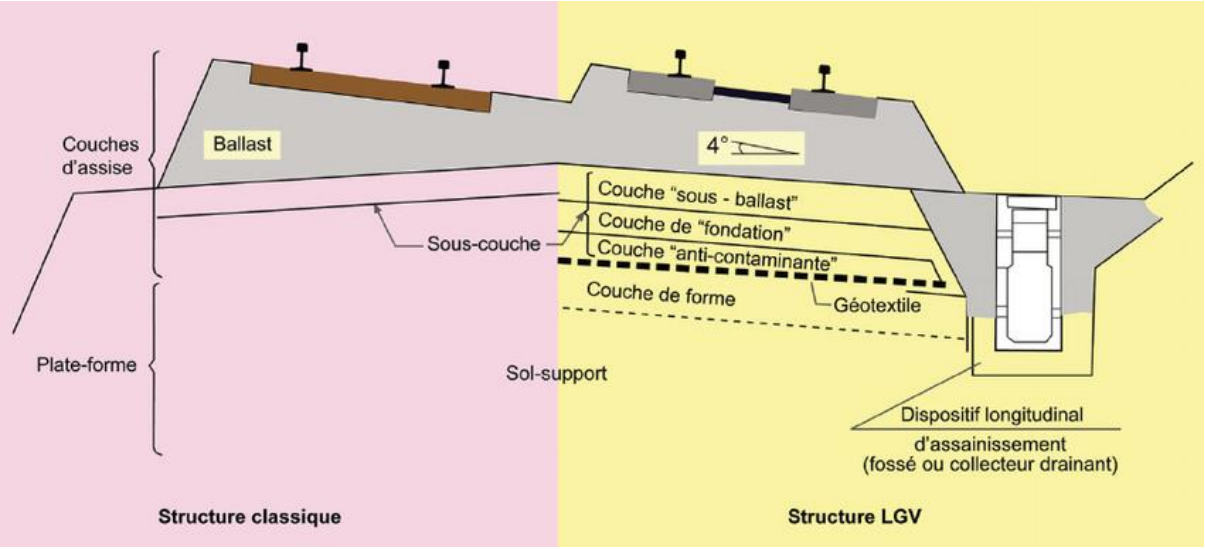


Figure VI.1 Structure d'assise ferroviaire

VI.2. COUCHE DE BALLAST

Dans le domaine ferroviaire, les matériaux granulaires constituent un ingrédient essentiel de l'infrastructure, l'un de ces matériaux est Le ballast est le lit de pierres ou de graviers sur lequel repose une voie ferrée, donc ce sont des granulats concassés (25/50 mm) provenant des roches dures dont le type de roches utilisées varie suivant les régions et en fonction du climat.

VI.2.1. Contraintes

Le ballast subit deux types d'usure :

- Contamination pars des matériaux parasites comme la terre et les herbes où on procède à des désherbages, mais il est nécessaire de remplacer le ballast régulièrement.

- Tassement du ballaste sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie ; donc il est nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie sous les traverses; ou bien de réaliser une opération d'entretien à l'aide d'une bourreuse.

VI.2.2. Rôle du ballast

- Permettre l'ancrage longitudinal et latéral de la voie.
- Amortir une part des vibrations mécaniques et acoustiques induites par les circulations.
- Transmettre jusqu'à la plateforme les charges concentrées appliquées sur les traverses, avec des niveaux d'effort acceptables pour la sous-couche, en limitant le tassement permanent de la voie.
- Faciliter les opérations de maintenance et de mise en place de la voie.
- Assurer le drainage immédiat des eaux pluviales dans la voie.

VI.3. SOUS COUCHE

C'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plateforme, elle peut être mono ou multicouches et est constituée par des granulats bien gradués à base de gravier et de sable. Elle comprend une couche "sous ballast" en grave propre bien gradué (0/31.5) puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sol et enfin, s'il y a lieu une couche anti-contaminatrice complété par des feuilles de géotextile ou géo-membrane.

Elle a des rôles multiples :

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

VI.4. PLATEFORME

C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche, elle est constituée de sol rapporté en remblai ou en place en déblai.

Afin d'évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

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

VI.4.1. Classification des sols pour la plateforme

La classification est faite selon la norme UIC 719 R, où la qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

- La nature géotechnique du sol : granularité, dureté, altérabilité et contenu organique.
- Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques.

On distingue selon certaines conditions et modalités, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

- **QS0** : **Sols "impropres"** à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)
- **QS1** : **Sols médiocres** acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).
- **QS2** : **Sols moyens.**
- **QS3** : **Bons sols**.

VI.4.2. Classe de portance de la plate-forme

La portance d'une plateforme dépend de :

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

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- ✓ **P1** : Plateforme médiocre.
- ✓ **P2** : Plateforme moyenne.
- ✓ **P3** : Plateforme bonne.

Tableau VI.1 La classe de portance de la plateforme (fiche 719R)

Classe de qualité du sol	**Classe de portance envisagée pour la plateforme**	**Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance**	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS_1	P1 P2 P2 P3	QS_1 QS_2 QS_3 QS_3	- 0.50 0.35 0.50
QS_2	P2 P3	QS_2 QS_3	- 0.35
QS_3	P3	QS_3	

Plateforme proposée: 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, 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).

VI.5. CALCUL D'EPAISSEUR MINIMALE

La formule qui nous permet de calculer l'épaisseur minimal de la couche d'assise est donnée comme suit :

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

Avec :
E= dépend de classe de la plateforme (P1, P2, P3).
a= classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).
b= type et longueur de la traverse.
c= type de dimensionnement.
d= la charge maximale à l'axe.
f= dépend de la classe de portance de la plateforme et de la vitesse.
g= épaisseur de géotextile.

Les valeurs retenus pour le calcul de l'épaisseur minimal sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 Valeurs retenus pour calcul de l'épaisseur minimal

Paramètres et valeurs	**Critère de choix**
E= 0.45m	Pour les plates-formes de classe de portance P3
a=0	Pour les groupes UIC 1 et 2
b=(2,50 – L)/2 = 0.13 m **Avec** : L=2.24m (Traverses type VAX U31)	Pour les traverses béton de longueur L (b en m. L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c=0	Pour un dimensionnement normal
d=0.05 m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
f=0	Pour toutes les lignes à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portance P3.
g= 0	épaisseur du géotextile lorsque la couche de forme est en QS_1 et QS_2 .

L'épaisseur des couches d'assise est à : e= 0.63 m soit : e= 0.65 m
En utilisant les valeurs minimales de chaque couche on obtient les épaisseurs des couches représentées dans le tableau suivant :

Tableau VI.3 Épaisseur des différentes couches

couche	**Epaisseur (cm)**
Ballast	30
Sous ballast	20
Couche de fondation	15
Couche de forme	35

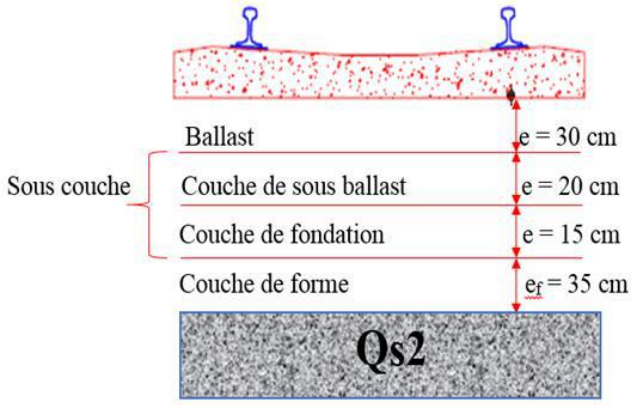


Figure VI.2 Position des couches d'assise

VI.6. EXIGENCES SUR LES CONSTITUANTS DE LA COUCHE D'ASSISE

VI.6.1. Ballast

Le Ballast sera constitué par 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 VI.4 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695)

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 %.

VI.6.2. Couche de sous ballast

Pour construire la couche sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0 /31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25.

VI.6.3. Couche de fondation

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued.

VI.6.4. Couche de forme de qualité S3

Conformément au document des spécifications techniques ST590B. Elle est exécutée en grave 0/D. avec une résistance LA+MDE ≤ 60 et une valeur de propreté Vbg ≤2.

Le taux de compactage et le module de déformation minimale qui est calculé par l'essai de plaque, leurs valeurs sont : γd ≥ 100% de l'OPM, EV2 ≥ 80 MPa.

VI.7. TRAVAUX DES TERRASSEMENTS ET STABILITE DE TALUS

Pour des raisons évidentes de sécurité, les pentes de talus en déblai ou en remblai doivent assurer la stabilité des matériaux. Les pentes de talus varient selon plusieurs paramètres notamment la nature du sol, la granulométrie et de la cohésion de ses particules et l'immersion ou non de l'ouvrage.

Les problèmes de stabilité de pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages. En outre certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts naturels considérables.

L'estimation de la sécurité réelle vis-à-vis du risque de rupture est une question complexe surtout dans le domaine des données limitées ou peu connues. L'étude d'un talus comporte, outre la reconnaissance du site et le choix des caractéristiques mécaniques des sols, un calcul de stabilité pour déterminer d'une part la courbe de rupture le long de laquelle le risque de glissement est le plus élevé, d'autre part la valeur correspondante au coefficient de sécurité.

VI.7.1. Pentes des talus

Pour obtenir un équilibre stable, nécessaire à la bonne tenue des terres en remblais et des tranchées, il convient de donner aux talus qui limitent ces terrassements une inclinaison convenable. Cette pente peut se définir :

- Soit par la tangente de l'angle (pente) que fait ce talus avec l'horizontale.
- Soit par la cotangente de l'angle (inclinaison) dont la valeur s'exprime généralement comme celle de la tangente par une fraction.

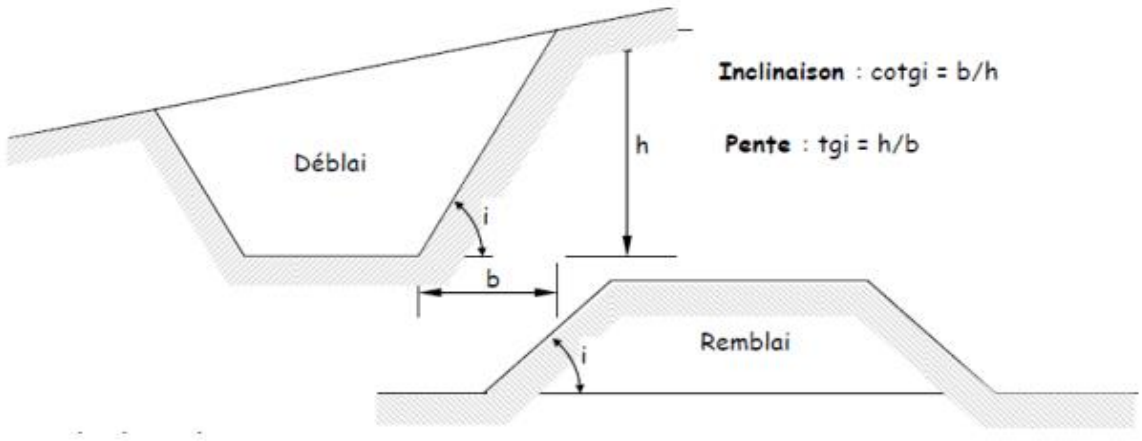


Figure VI.3 Inclinaison / pente déblais / remblais

VI.7.2. Angle de talus

L'angle i doit toujours être inférieur à l'angle de frottement interne appelé ϕ, ce dernier étant caractérisé par ce que l'on appelle la pente naturelle des terres, c'est à dire, l'inclinaison que prend un talus soumis à l'action des seuls agents atmosphériques.

Cet angle de frottement interne dépend essentiellement de la nature du degré de consistance et de la teneur en eau du terrain.

En terrains meubles, le degré de consistance a une grande influence sur la valeur de l'angle ϕ, qui est plus grande pour les talus de déblais en terrain non fraîchement remué ou vierge (terrain naturel) que pour les talus de déblais en terrain rapporté ou fraîchement remué et les talus de remblais.

Cette différence tient au fait que le glissement, les unes sur les autres, des particules constituant une terre meuble, rencontre dans des terrains non fraîchement remués, une résistance distincte de celle provoquée par le frottement réciproque des particules. Cette résistance est appelée « COHESION », elle est d'ailleurs sujette à s'atténuer ou à disparaître dans les cas de sécheresse, gelée, etc.

En ce qui concerne la teneur en eau du terrain, c'est un correctif important à la valeur de l'angle ϕ, car elle facilite le glissement des particules les unes sur les autres, en adoucissant leur frottement, ce qui a pour effet de réduire sensiblement cet angle quand le degré d'humidité est élevé. Il faut signaler cependant que les sables humides possèdent une cohésion qu'ils n'ont pas quand ils sont secs ou immergés.

Compte tenu de ces considérations, il faut donc éviter de donner aux talus une pente plus raide que celle du talus naturel de la terre correspondante possédant un degré d'humidité identique.

VI.7.3. Disposition Géométrique Pour Stabiliser les talus

- Lors des fouilles, si le talus que l'on veut réaliser fait avec l'horizontale un angle inférieur ou égal à l'angle naturel, aucune précaution particulière ne doit être prise.

- Si au contraire l'angle est supérieur à l'angle naturel. Il y a danger d'éboulement et il convient de prendre des dispositions pour les éviter.
- D'une manière générale, lors de l'exécution des terrassements en remblai, le rapport admis entre la base et la hauteur est de 3 à 2.

Le tableau suivant nous donne les valeurs les plus couramment utilisées pour les pentes de talus en déblai et en remblais.

Tableau VI.5 Valeurs des angles de talutages en fonction

Type de sol	Délais (en terrain naturel)			
	Zone sèche H/V		Zone immergée H/V	
Rocher compact	80°	1/5	80°	1/5
Roc friable	55°	2/3	55°	2/3
Débris rocheux	45°	1/1	40°	5/4
Terre et pierres	45°	1/1	30°	2/1
Terre argileuse	40°	5/4	20°	3/1
Gravier et sable	35°	3/2	30°	2/1
Sable fin	30°	2/1	20°	3/1

- **Pente de talus en remblais :**

Pour notre projet la hauteur du remblai maximal est $H_{max} = 1.93\ m$

On prend la disposition 3H/2V.

- **Pente de talus en déblais :**

Pour notre projet la hauteur des déblais maximaux est $H_{max} = 1.93\ m$

On prend la disposition 3H/2V.

VI.7.4. Conclusion

Dans le but de minimiser le coût des travaux de terrassement, avoir un bon tracé de la ligne rouge du profil en long proche de la ligne du terrain naturel est la meilleure solution car sa diminue les travaux et autorise d'avoir des solutions de stabilité beaucoup plus simples que lors on a de grands ouvrages de terrassement.

ETUDE HYDRAULIQUE

CHAPITRE VII : ETUDE HYDRAULIQUE

VII.1. INTRODUCTION

L'étude hydraulique consiste à l'étude des eaux superficielles, elle a pour but d'exploiter et de collecter les données permettant d'évaluer les débits de crue de chaque bassin versant correspondant à son écoulement principal.

L'étude hydrologique doit nécessairement s'appuyer sur une bonne compréhension des principes hydrologiques de façon à pouvoir bien dimensionner le réseau de drainage transversal et longitudinal (dalots, buses et fossés …).

Afin de récolter le maximum de données, Nous nous sommes basés sur des supports suivants :

- Cartes topographiques.
-Valeurs de l'intensité de pluie recueillis pour les stations utilisés (source : ANRH).
-Données hydrométriques (source : ANRH).

VII.2. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région de Laghouat se localise sur une zone de contact large entre l'Atlas saharien et son piémont sud, Caractérise par un relief contrasté relief relativement plat au Sud-est et à l'Est de la ville où se développent des dépressions : Dayet, Sebkha et Chott. Par contre au Sud-ouest, à l'Ouest et au Nord-Ouest de cette localité s'érigent des chaînons, plus ou moins étendus et étroits, avec une orientation globale Sud-ouest ; Nord-est dont les altitudes peuvent dépasser les 1000 m. On distingue du Sud-Ouest vers le Nord-est, et d'Est en vers Ouest, successivement les djebels Kheneg, Ahmar (883 m) et Dj. Dakhla, et à l'Ouest s'observent les Dj. Oum Deloua (1023 m) et Melok.

VII.2.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

L'ensemble des djebels constitue des obstacles topographiques au transit du matériel sableux, plus particulièrement pour les vents Nord-Ouest. Cependant des seuils (cluses, el kheneg signifiant passage étroit) sont des ouvertures de transit, entaillés dans ces chaînons. Les cluses, d'Oued M'zi localisées à l'extrémité Nord-Est du Dj. Oum Deloua, au niveau de la zone de relais entre les djebels Ahmar et Dakhla et au sein du Dj. Kheneg, prolongement Sud-Ouest du Dj. Ahmar, forment des couloirs de passage, plus du vent

VII.2.2. Caractéristiques climatiques

La région de Laghouat se caractérise par un climat aride. En se référant à la station pluviométrique de Laghouat, située à 767 m d'altitude, la moyenne calculée est estimée entre 300 et 400 mm/an au Nord-Ouest et elle varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. La température moyenne, toujours à la même station, est estimée entre 8 °C en hiver et 40 °C été.

Les vents les plus fréquents au sol, d'après la station de Laghouat, soufflent essentiellement du Nord-Ouest, globalement pour les 7h, 13h et 18h (représentant 30% de fréquence). Les autres directions des vents représentent respectivement : Nord (15%), Ouest (1%), Sud-Ouest

(10%), Nord-Est (10%), Sud (3-8%), Sud-Est (5%) ; les fréquences inférieures à 3% ne sont pas prises en compte.

VII.3. BASSINS VERSANTS

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau affluent en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

VII.3.1. Délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins versants s'est effectuée sur la base des cartes d'état- major, en suivant les lignes de partage des eaux, selon l'orientation des courbes de niveau. Ainsi le réseau hydrographique a été établi en digitalisant le talweg ou le cours d'eau principal.

VII.3.2. Caractéristiques morphologique des bassins versants

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

Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Civil 3D, les paramètres suivants ont été déterminés :

- **Périmètre et superficie :**

Le périmètre est la longueur de la ligne de conteur du bassin. P (m)

La superficie du bassin versant est la partie du plan délimitée par la lignes de crête. S (km²)

- **Altitude moyenne :**

Donnée par la formule suivante : H_{moy} (m)

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

Différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin : ΔH (m)

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

- **Pente du bassin : J (m/m)**

$$J = \frac{\Delta H}{L}$$

- **Longueur de l'oued principal : L (Km).**

- **Temps de concentration : (heures)**

Ce paramètre dépend de la surface du bassin versant tel que :

1- Lorsque : **S < 5 km²** : on applique la formule des bassins versants : $t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{J}}$

2- Lorsque : **5km² ≤ S < 25 km²** : on utilise la formule de PASSINI : $t_c = \frac{0.108 \sqrt[3]{S*L}}{\sqrt{J}}$

3- Lorsque : **25 km² ≤ S < 200 km²** : on utilise la formule de GIANDOTTI : $t_c = \frac{4\sqrt{S}+1.5\,L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$

Les résultats sont présentés dans les tableaux récapitulatifs suivants :

Tableau VII.1 Caractéristiques des bassins versants

Pk	Hmax	Hmin	Périmètre (m)	S (km2)	H_{moy} (m)	ΔH	Longueur (m)	pente (%)	Tc (h)
1+ 815	824	812	5040.370	1.200357	818	12	1915.278	0.6265	1.7606
10+220	783	781	838.092	0.048677	782	2	193.3	1.0346	0.2759
11+470	782	773	1566.086	0.140043	777.5	9	521.26	1.7265	0.3622
12+635	807	773	18411.586	9.056199	790	34	8704.168	0.3906	7.4092
17+822	756	749	19918.075	17.39553	752.5	7	10534.38	0.0664	23.7973

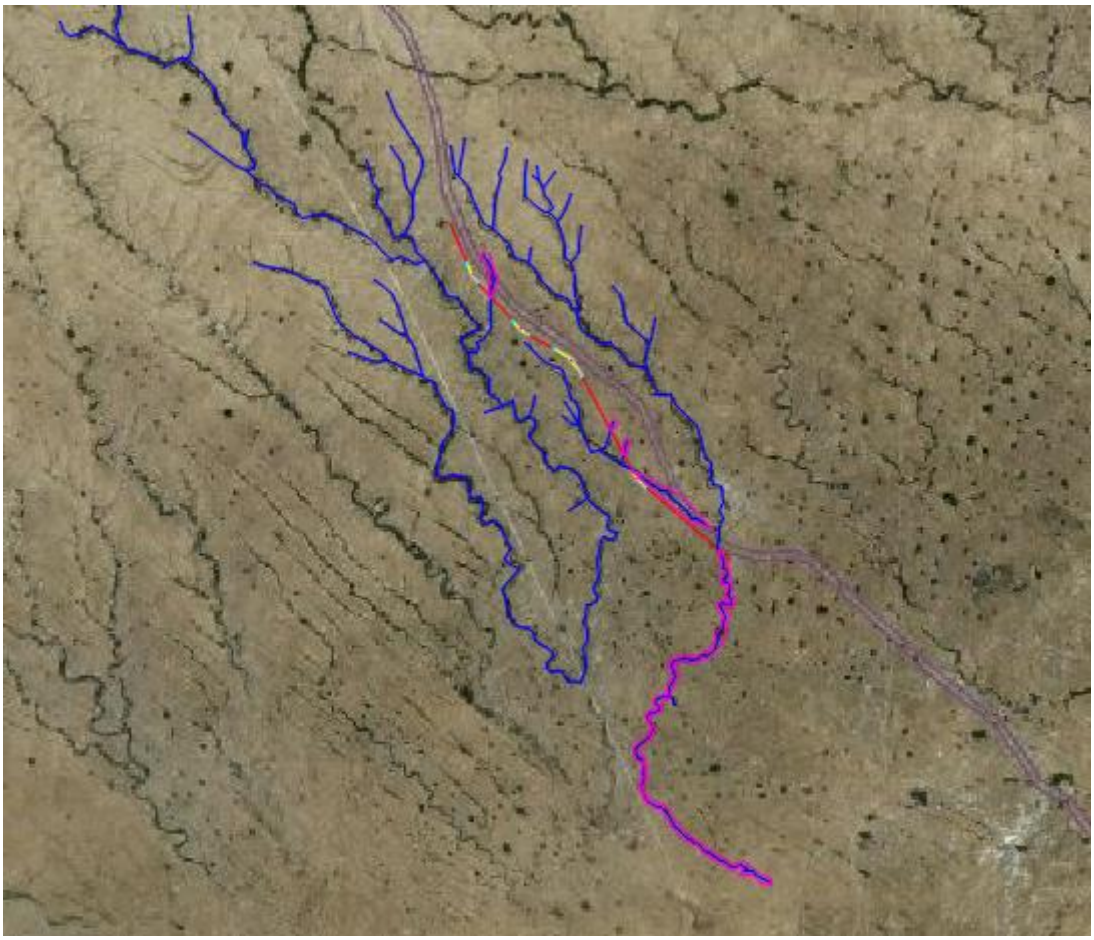


Figure VII.1 bassins versant

VII.4. PLUVIOMETRIE

VII.4.1. Acquisition des données

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau. Il s'agit d'observations journalières à partir desquelles, nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles.

Wilaya	**LAGHOUAT**
X (Lambert)	516.983
Y(Lambert)	55.992
Altitude (m)	765

VII.4.2. Les données des stations environnantes

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques qui sont dépouillés par un lecteur de courbes. La digitalisation se fait par la méthode de dépouillement à intensités constantes.

On a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (1h ,2h ,3h ,6h, 12h ,24h et24h de 8h à8 h) Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné 03 valeurs par année. Nous avons obtenu des séries de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée.

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est donnée par :

$$\boldsymbol{I\ (t, T) = \frac{a\ (T)}{t^b}}$$

Tel que :

I : Intensité de pluie exprimée en mm/h ;

T : période de retour

t : temps en heures.

a et **b** : paramètres de Montana.

- Avec b=0.81

Et avec les paramètres < a > pour les différentes fréquences sont :

Tableau VII.2 valeur de <a > pour chaque période de retour

T	2	5	10	20	50	100
a (T)	12.3	17.6	21.2	24.6	29.0	32.3

VII.4.3. Estimation des débits d'apport (Qa)

L'intérêt de la détermination du débit maximum d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques.

Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra être protégé. La crue max. est caractérisée par:

- Le débit Max ;

- La durée de la crue ;

Pour évaluer les débits max des bassins versants qu'on a déjà délimités, on utilise les formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants suivantes, il s'agit de :

La Formule Rationnelle : $\boldsymbol{Qmax}=\mathbf{0.278}\times\boldsymbol{Cr}\times\boldsymbol{I}\times\boldsymbol{S}$

Qmax : débit de crue de période de retour voulue (m3/s) ;
Cr : coefficient de ruissellement ;
I : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h) ;
S: superficie du bassin versant (Km²).

Pour la détermination du coefficient du ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY :

Avec : $\boldsymbol{Cr}=\boldsymbol{C1}+\boldsymbol{C2}+\boldsymbol{C3}$

Tel que :
C1 : dépend de la pente du cours d'eau principal.
C2 : dépend de la perméabilité du terrain, donné à partir de l'information concernant la nature du sol et de ses caractéristiques.
C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau VII.3 Valeurs de C1, C2, C3 pour calculer le coefficient de ruissellement

Pente I (%)	La valeur de C1	Nature du sol	La valeur de C2	Couverture végétale	La valeur de C3
I < 3.5	0.01- 0.05	Imperméable	0.22 - 0.30	Roche	0.22 - 0.30
3.5 < I < 11	0.06 - 0.1	Pas assez perméable	0.10 - 0.20	Prairie	0.17 - 0.25
11 < I < 35	0.12 - 0.20	perméable	0.06 - 0.10	Champs de labour	0.07 - 0.15
I > 35	0.22 - 0.30	Très perméable	0.06 - 0.05	Forêts et sols sableux	0.03 - 0.05

Selon les caractéristiques de notre zone d'étude, on prend :
C1= 0.03
C2= 0.06
C3= 0.04

Tableau VII.4 Valeurs des débits d'apport

Bassin	$I_{50\ ans}$ (mm/h)	Tc (h)	S(km2)	c	debit Qa (m^3/ s)
N1	18.34033	1.760628	1.200357	0.13	0.79
N2	82.29806	0.2759	0.048677	0.13	0.14
N3	66.0068	0.362263	0.140043	0.13	0.33
N4	5.72641	7.409217	9.056199	0.13	1.87
N5	2.225411	23.79732	17.39553	0.13	1.39

VII.5. ÉTUDE HYDRAULIQUE

La ligne ferroviaire franchit des oueds et talwegs qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques conçus et dimensionnés pour perturber le moins possible les écoulements, et ne générer aucune menace pour l'infrastructure, la sécurité des voyageurs et les riverains.
Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

VII.5.1. Assainissement transversal

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un évènement pluvieux d'occurrence de 50 ans.

Il existe un type d'ouvrage pour notre chaussée, afin d'assurer un drainage judicieux sur tout le long de l'itinéraire. Nous avons choisi des buses qui ont pour but d'assurer souterrainement l'écoulement des eaux lorsque leur volume est faible ce qui est le cas dans notre zone d'étude.

Pour les calculs du dimensionnement des ouvrages, on vérifie que ce dimensionnement et le calage de l'ouvrage choisis fournissent des conditions d'écoulement acceptables :

- Un écoulement à surface libre.
- Une vitesse d'écoulement inférieure à 5 m/s selon le référentiel technique SNTF.
- Une hauteur d'eau amont acceptable.
- Une revanche pour le passage des corps flottants.

VII.5.1.1. Estimation des débits de saturation

Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de Manning Strickler :

$$\mathbf{Q} = \boldsymbol{K} * \boldsymbol{R_h^{\frac{2}{3}}} * \boldsymbol{Sm} * \boldsymbol{J^{1/2}}$$

Avec :
K : coefficient de rugosité
J : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m)
$\boldsymbol{R_h}$ **:** Rayon hydraulique = section mouillée/périmètre mouillé.

Tableau VII.5 Valeurs de K coefficient de rugosité

Nature de l'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
K	30	40	50	70	80

Pour le cas de notre projet, tous les ouvrages hydrauliques sont conçus en béton armé, donc leurs coefficients de rugosité de Manning-Strickler est égal à 80 car on utilise des buses.

Hauteur de remplissage :

Par utilisation courante, on admet que la hauteur de remplissage pour les ouvrages hydrauliques doit vérifier certaines valeurs, tel que la hauteur de remplissage est définie comme suit :

Dalot : hr = 0.8H si H≤2.5m
hr = H-0.5 si H >2.5m

Buse : hr = 0.75Ø si Ø≤ 1m
hr = Ø – 0.5 si Ø >1m

VII.5.1.2. Dimensionnement des ouvrages

Les buses sont des ouvrages circulaires préfabriqués en béton armé de dimensions standardisés désignés par le diamètre intérieur de la buse. Elles ont une capacité d'évacuation des débits moins importantes que celles des dalots.

On propose Φ et i=0.5% et on procède au calcul pour chaque bassin versant pour vérifier que :

Qa < Qs

Qa : Débit d'apport (m3/s).

Qs : Débit de saturation de l'ouvrage (m3/s).

Tableau VII.6 Valeurs des débits de saturation

PK	Φ (m)	D/2 (m)	Hr (m)	Sm (m²)	Pm (m)	Rh (m)	I (m/m)	Qa (m3/s)	Qas (m3/s)
1+ 815	1	0.5	0.75	0.785	3.141	0.25	0.005	0.79	1.76
10+220	0.6	0.3	0.45	0.282	1.884	0.15	0.005	0.14	0.45
11+470	0.6	0.3	0.45	0.282	1.884	0.15	0.005	0.33	0.45
12+635	1.2	0.6	0.7	1.130	3.769	0.3	0.005	1.87	2.86
17+822	1.2	0.6	0.75	1.130	3.769	0.3	0.005	1.10	2.86

Les éléments préfabriqués proposés sont des buses ayant les diamètres suivants : Φ 1000mm, Φ600mm et Φ1200mm.

VII.5.1.3. Vérification des conditions d'auto curage

Pour que les conditions d'auto curage seront vérifiées, on doit vérifier que
V>0.6 m/s pour Q=0.1Qps.
V>0.3 m/s pour Q=0.01Qps.

Calcul de Vps : On calcule Vps (Vitesse pleine section) à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{Vps} = \boldsymbol{K} * \boldsymbol{R_h^{\frac{2}{3}}} * \boldsymbol{J^{1/2}} \quad \text{ou bien} \quad Vps = Qs/S$$

Tableau VII.7 Vérification de vitesse pour Q=0.1Qps et pour Q=0.01Qps

Bassin	Vps (m/s)	V (m/s)	v> 0.6	V (m/s)	v> 0.3
N1	2.24	2.18	Condition vérifiée	0.55	Condition vérifiée
N2	1.59	1.42	Condition vérifiée	0.35	Condition vérifiée
N3	1.59	1.74	Condition vérifiée	0.46	Condition vérifiée

N4	2.53	2.7	Condition vérifiée	0.71	Condition vérifiée
N5	2.53	2.52	Condition vérifiée	0.64	Condition vérifiée

On voit que les conditions d'auto curage sont vérifiées pour tous les bassins versants, qui confirment notre choix des dimensions des dalots pour chaque bassin versant.

VII.5.2. Assainissement longitudinal

Les dispositifs de drainage longitudinaux concernent les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme dans les structures d'assise, les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants et les eaux internes éventuelles.

On peut classer les drainages :

- Par leur position : drainages de déblai ou de remblai (pour le drainage, les remblais de hauteur inférieure à 1,50 m sont assimilables à des déblais) ;
- Par leur nature : drainages à ciel ouvert (tous types de fossés et cunettes) ou enterrés (collecteurs drainants ou non) ;
- Par leur destination : drainages superficiels qui ne collectent que les eaux de ruissellement et drainages profonds destinés également à rabattre la nappe phréatique.

VII.5.2.1. Dimensionnement des fossés

Un fossé d'une section trapézoïdale (avec déclivité du talus 2:3), sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme. La section du fossé doit être suffisante pour collecter, sans débordement, les eaux de la plate-forme, ainsi que les autres dépendances de l'emprise (surface du talus) et éventuellement de l'extérieur dans la mesure où la superficie intéressée est une faible fraction de celle de l'ensemble du bassin drainé par le fossé.

Pour le dimensionnement des fossés, on a opté pour une approche générale en calculant le débit engendré par les écoulements ruisselés sur les talus du terrain naturel et les plates-formes de la voie ferroviaire, On a pris le cas le plus défavorable (Hmax) qui représente le grand débit entre le remblai et le déblai. Le calcul a été effectué pour une période de retour de 10 ans, en appliquant la formule suivante (méthode rationnelle) :

$$\boldsymbol{Qa}=\mathbf{0.278}\times\boldsymbol{Cr}\times\boldsymbol{I}\times\boldsymbol{S}$$

Avec :

Qa : Débit décennal (en m3/s) ;
S : Surface active de la plate-forme de la voie ou talus en km².
Cr : Coefficient de ruissellement pondéré. Pour la pondération du coefficient de ruissellement de la plate-forme de la voie, les valeurs suivantes sont retenues :

- C = 0.9 pour la plateforme ;
- C = 0.70 pour les talus.

I : Intensité de pluie décennale (en mm/h), calculé à partir de la loi de MONTANA.

Ensuite on détermine la hauteur utile du fossé par la méthode de Manning-Strickler pour que ce débit (Qc) soit supérieur à la somme des débits de plateforme et talus, ainsi l'évacuation

des eaux sera maintenue. La formule de Manning-Strickler est donnée par : **Qc =** $\boldsymbol{K} * \boldsymbol{R}_{\boldsymbol{h}}^{\frac{2}{3}} * \boldsymbol{Sm} * \boldsymbol{J}^{1/2}$

Où :

Qc : Débit décennal (en m3/s).

Ks : Coefficient de rugosité Strickler et on prend K = 70 (correspondant à des fossés en béton)

Sm : Superficie de la section du fossé **Sm= (b+*z*.h).h**
Pm : Le périmètre mouillé **Pm= b+2h. (1+*z*2)1/2**
Rh : Rayon hydraulique $\boldsymbol{Rh}$**=Sm/Pm**, avec : z = 1m (m : pente de la berge)
I : Pente (La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie)
Pour notre cas la pente de talus est de m= tgα= 2/3= (1/z) ce qui donne z=1.5

Le tableau suivant indique le débit de crue de la plateforme et talus :

Tableau VII.8 Débit de crue de la plateforme et talus

Plateforme	Surface : S= 5.7901 m2 Débit : Qp= 0.008 m3/s
Déblai	Surface : A= 51.46 m2 Longueur : L= 500 Débit : Qt= 0.060 m3/s
remblai	Surface : S= 20 m2 Longueur : L=700m Débit : Qt= 0.023 m3/s

Débit d'apport : Qa= Qt+Qp

Les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

En remblai et **en déblai :** un fossé de dimensions : b=0.5m, h=0.5m (Qc= 0.611 m3/s).

Ainsi que des descentes d'eau sont disposées sur les plateformes en remblai afin de permettre l'évacuation des eaux des caniveaux placés en bordure de la plateforme, vers les fossés.

VII.6. CONCLUSION

L'objectif principal de cet étude hydraulique est la prédétermination des débits de crue tout le long du tracé de la voie ferrée pour protéger cette dernière et pour éviter l'inondations. Il s'agit donc de :

- Collecter et évacuer les eaux superficielles sur la plateforme et les talus.
- Drainage des eaux internes (drainage).
- Lutter contre la pollution routière.

ARMEMENT DE LA VOIE

CHAPITRE VIII : ARMEMENT DE LA VOIE

VIII.1.RAIL

VIII.1.1. Définition

Un rail est une barre d'acier profilée. Deux files parallèles de rails mis bout à bout, constituant le chemin de roulement et de guidage des roues à boudin des véhicules ferroviaires et souvent utilisés pour la transmission de signaux. Les rails ont une longueur de 36 m. Ils sont soudés pour donner des longueurs de plusieurs kilomètres. Dans les fortes courbes, la pose avec éclisses est maintenue.

Les rails reposent alors généralement sur des traverses pour conserver un écartement constant. Pour cela le rail est l'élément essentiel de la sécurité de la voie, les traverses et le ballast ne servent qu'à attacher le rail et à le supporter.

Il existe trois types principaux de rails :

- Le rail à patin dit rail Vignole :

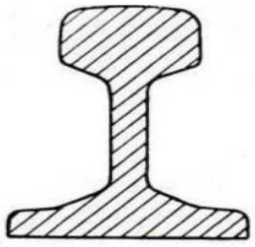


Figure VIII.1 Rail Vignole

- Le rail à double bourrelet :

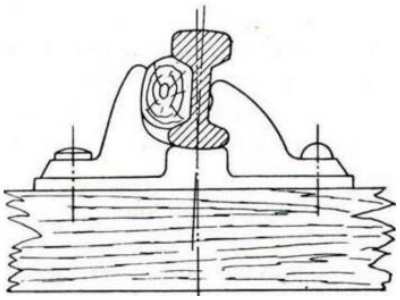


Figure VIII.2 Rail Double Bourrelet

- Le rail à ornière :

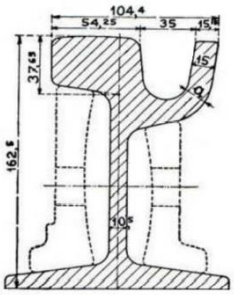


Figure VIII.3 Rail à Ornière

VIII.1.2. Le type de rail utilisé en Algérie

Le type de rail le plus utilisé par la SNTF est le rail Vignole, vu son emploi universellement répandu, la SNTF a adopté pour la ligne étudiée le rail Vignole UIC 60 (60,22Kg/ml)

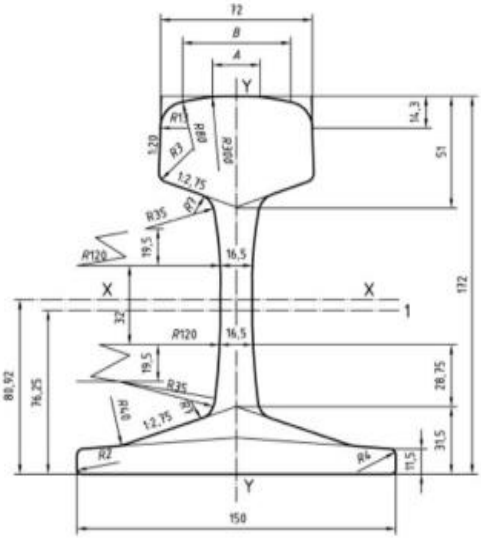


Figure VIII.4 Rail Vignole type UIC 60 E1



1: La Nuance 2: Année de fabrication 3: Profil

Figure VIII.5 Rail utilisé dans le Projet

- **Caractéristiques du rail UIC 60 E1 selon EN13674-1 :**
  - Hauteur H= 172mm
  - Largeur de table de roulement l=72mm
  - Epaisseur de l'âme E=16,5mm
  - Largeur du patin L=150mm
  - Surface de la section : 76,70 cm2
  - Masse par mètre : 60,21 kg/m
  - Moment d'inertie (axe x-x) : 3038,3 cm4
  - Moment d'inertie (axe y-y) : 512,3 cm4

VIII.2. LES LONGS RAILS SOUDES (LRS)

VIII.2.1. Définition

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs dizaines de kilomètres.

C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.

VIII.2.2. Soudure des LRS

Les rails doivent être soudés bout à bout pour éviter les chocs au passage des joints, ainsi que la détérioration des galets et des pièces mécaniques des engins roulants. On a deux types de soudure sont employés le soudage par étincelage-forgeage (électrique) et le soudage aluminothermique.

- **Soudage électrique :**

Le soudage par étincelage-forgeage (électrique) est réalisé à poste fixe ou à l'aide de machines mobiles. Le matériau à rails est chauffé et soudé par le courant électrique, aussi le cordon de soudure est-il réalisé dans le même matériau que les rails. Les zones d'influence thermique de dureté réduite sont nettement plus petites que dans le cas du soudage aluminothermique

Temps requis : 3min/soudure et 2min réglage.

- **Soudage par aluminothermique :**

Le soudage par aluminothermie est un procédé de soudage des rails bout à bout.

Le produit utilisé est un mélange d'oxydes métalliques, d'éléments d'alliages et d'additifs particuliers. Ceux-ci réagissent pour former le métal simultanément à une réaction exothermique pour produire l'acier fondu qui formera la soudure.

Les rails à souder sont alignés en laissant un espace précis entre leurs extrémités. Des moules réfractaires sont ajustés autour du joint entre les deux rails. Le processus récent fait appel à un creuset jetable.

VIII.3. LES TRAVERSES

VIII.3.1. Définition

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. 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. On utilise principalement des traverses en bois ou en béton.

VIII.3.2. Types de traverses

- **Traverse en bois** :

Les traverses en bois constituent encore la très grande majorité des traverses utilisées dans le monde. Traditionnellement elles sont en bois dur (chêne ou plus rarement en hêtre). Le bois est apprécié pour sa résistance et sa flexibilité, pour sa facilité de mise en œuvre. Mais de durée de vie réduite (20 à 30 ans) car putrescible, il doit alors - pour cet usage - être imprégné sous pression d'un pesticide (puissant insecticide et fongicide), la créosote de goudron de houille. Pour éviter l'apparition de fentes, liées aux successions de périodes humides et sèches, on peut cercler les têtes de traverses à l'aide de feuillards métalliques, c'est le frettage.

- **Traverse métallique :**

La traverse métallique est un produit industriel de fabrication simple. Elle est constituée d'un laminé en forme de U renversé, embouti à ses extrémités, pour former des bêches qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie. Le rail est fixé au moyen de crapauds qui appuient sur le bord du patin. Ces crapauds sont serrés par des écrous vissés sur des boulons et la combinaison de deux ou trois modèles permet de réaliser une gamme progressive d'écartement de la voie.

- **Traverse en béton :**

La traverse en béton, qui a une durée de vie plus importante (50 ans), fut introduite il y a plusieurs décennies pour pallier les inconvénients du vieillissement naturel du bois. Son utilisation fut appliquée alors aux lignes faiblement chargées.



Figure VIII.6 Traverse en béton Bi-Bloc

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.

VIII.4.LES ATTACHES

VIII.4.1.Définition

Une attache et un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement.

VIII.4.2. Rôle des attaches

Les attaches des rails maintiennent l'écartement et transmettent les efforts agissant sur et dans les rails aux éléments sous traverses (longrines transversales, longrines longitudinales, plaques en béton, etc.).

VIII.4.3. Types d'attache



Figure VIII.7 Type d'attache

VIII.5. LES APPAREILS DE VOIE

VIII.5.1. Définition et rôle

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

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné.

Les appareils de voie permettent aux véhicules de passer d'une voie à l'autre sans interrompre leur circulation.

VIII.5.2. Type de branchement

- **Branchement simple :**

Dans le cas de l'aiguillage simple, une autre voie (voie déviée) pat de la voie en alignement. Si on regarde de la pointe de l'aiguille en direction de la pointe du cœur de croisement, on peut faire la distinction entre le branchement simple à gauche et le branchement simple à droite. Le branchement simple se décompose de trois parties générales :

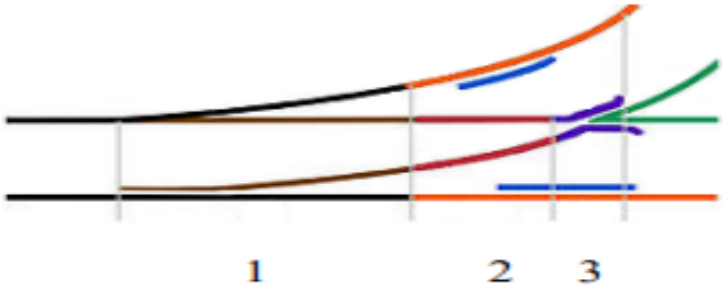
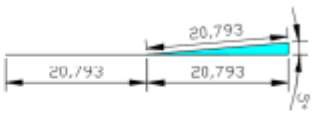
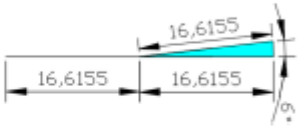
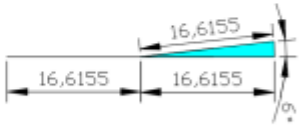
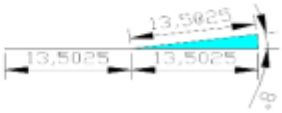
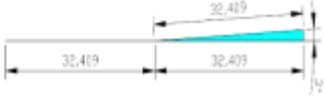


Figure VIII.8 Branchement Simple

1 L'aiguillage 2 Les voies intermédiaires 3 Le croisement

Il y'a plusieurs types de branchement simple selon la vitesse, l'inclinaison et le rayon

Tableau VIII.1 Aiguillages simples typique de réseau Algérien

Types de rails	Rayon (m)	angle	Vitesse VD (km/h)	Dimensions
UIC-60	500	1:12	70	
	300	1:9	50	
	190	1:9	40	
	190	1:7	40	
	1200	1:18,5	100	

- **Branchement double :**

Dans le cas du branchement double, deux autres voies (voir la figure) partent de la voie en alignement (voie directe). Le premier sens de bifurcation est déterminant pour la désignation « à gauche » ou « à droite ».

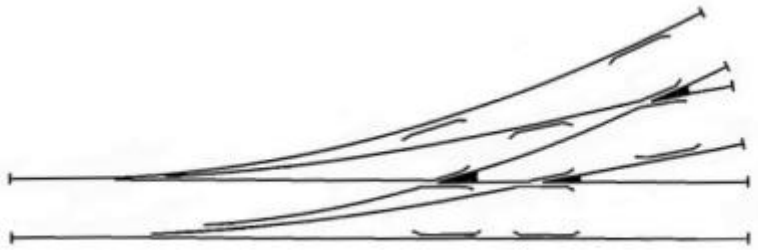


Figure VIII.9 Branchement double

CONCEPTION DE LA GARE DE BELLIL

CHAPITRE IX : CONCEPTION DE LA GARE DE BELLIL

IX.1. INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Elle comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises ainsi que pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

IX.2. TYPES DE GARES

On distingue trois types de gares tel que :

IX.2.1. Gare de voyageurs

Les gares, souvent perçues principalement comme des bâtiments, sont en fait des ensembles plus larges, conçus pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage. Pour certaines gares, le passage de nombreux voyageurs justifie l'installation de fonctions annexes au déplacement proprement dit, tels que des commerces variés. Les gares des voyageurs peuvent être des gares terminus ou des gares de passage.

IX.2.2. Gares de marchandises

Les gares de marchandises assuraient la totalité du traitement du trafic de marchandises.

IX.2.3. Gare de triage

Une gare de triage est spécialisée où les wagons de marchandises isolés de leur rame initiale sont triés pour être incorporés dans de nouveaux trains de marchandises (fret).

IX.3. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES

Les conditions nécessaires pour la conception des gares sont les suivantes :

- L’étude du bâtiment de voyageurs (B.V) doit respecter le plan d’urbanisme.
- Il faut séparer entre les flux de voyageurs entrant et sortants.
- Une grande gare centrale est préférable à la solution de plusieurs gares.
- Analyser avec précision tous les mouvements et manœuvres qui comporte aussi l’exploitation de la gare aux heures de pointe
- Aménager aux abords des gares des parcs de stationnement de voitures.

IX.4. INSTALLATION D’UNE GARE

IX.4.1. Quai

C’est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l’accès aux trains dans les gares à voyageurs, les quais servent à l’embarquement ou au débarquement des voyageurs
Les quais doivent présenter une surface bien régulière et unie, non glissante.

Généralement, les gares possèdent au moins un quai, les plus grandes en ayant de nombreux. Un quai peut être central et donc bordé par deux voies ou bien latéral (souvent le long du BV) et ne comporter qu'une seule voie.

IX.4.2. Bâtiment voyageurs (B.V)

Le BV est le bâtiment destiné à l'accueil des voyageurs. Il peut être de taille très variable ; généralement, il comporte un hall, des guichets ainsi qu'une ou plusieurs salles d'attente. On y trouve aussi une partie administrative et des logements pour le chef de gare et les cheminots.

IX.4.3. Auvents et abris

C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries, on prévoit des auvents dans les gares importantes et des abris dans les gares intermédiaires.

IX.4.4. Les bâtiments à usages divers (B.U.D)

C'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des colis, bureaux, etc.

IX.4.5. Abords

Ils facilitent le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode, on trouve donc :

- Des parcs de stationnements pour les utilisateurs de voitures particulières, appelés dans certains cas parc relais.
- Des gares routières.
- Des stations de taxis.
- Des stations de tramway ou de métro dans des villes de taille importante.
- Des parkings à vélos...

IX.5. CONCEPTION DE LA GARE DE BELLIL

IX.5.1. L'emplacement de la gare

La gare de BELLIL est une gare a voyageurs qui se situe du PK 18+140 au PK 19+540. La gare se situe à l'intersection de la route nationale N°1 et le chemin de Wilaya de LAGHOUAT sortant de la ville de BELLIL pour faciliter l'accès.

IX.5.2. Etude du plan de masse de la gare

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

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

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

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

IX.5.3. Le garage franc

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Il assure qu'il n'y aura pas de collision entre le train dévié et le train dans la voie principale.

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF tel que :

$$\mathbf{GF = 3.57 \times n + 1}$$

Avec : n : varie selon le type de l'appareil de voie.

Théoriquement on pose ce signal à 3.57 m entre les deux voies. Mais par mesure de sécurité, il est préférable de le poser un mètre plus loin par rapport à la position théorique.

IX.5.4. La longueur utile des lignes

C'est la distance séparant deux garages francs et elle est nécessaire pour permettre au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. Elle est déterminée et fixée à partir du plan de transport.

IX.5.5. Un heurtoir

Un heurtoir, ou parfois butoir, est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée en cul-de-sac, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie. Certains sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire de tampons situés à la même hauteur que l'attelage des trains.

IX.5.6. Types des appareils de voie

Un appareil de voie est un élément qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné lorsque d'autres itinéraires en divergent ou le traversent, pour notre gare nous avons utilisé deux types d'appareil de voie :

UIC 60-500- 1/12 : C'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 50 à 60 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 40 km/h. Ce type d'appareil est utilisé dans les voies de service.

IX.5.7. Déclivité de la gare :

La déclivité de la gare est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet**,** la déclivité est de 00 ‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

IX.6. PLAN DE TRANSPORT

Le plan de transport porte sur la prévision de la demande de transport ferroviaire s'appuyant sur les données de trafic fournies par le Maitre d'Ouvrage en Algérie, et l'estimation de la fréquence de circulation des trains, de l'intervalle entre deux trains successifs et des besoins des trains sur la base des résultats de cette prévision.

Le dimensionnement des installations et des structures d'exploitation s'appuiera sur le plan de transport afin de définir les caractéristiques normatives des installations.

IX.6.1. État actuel du réseau du chemin de fer algérien

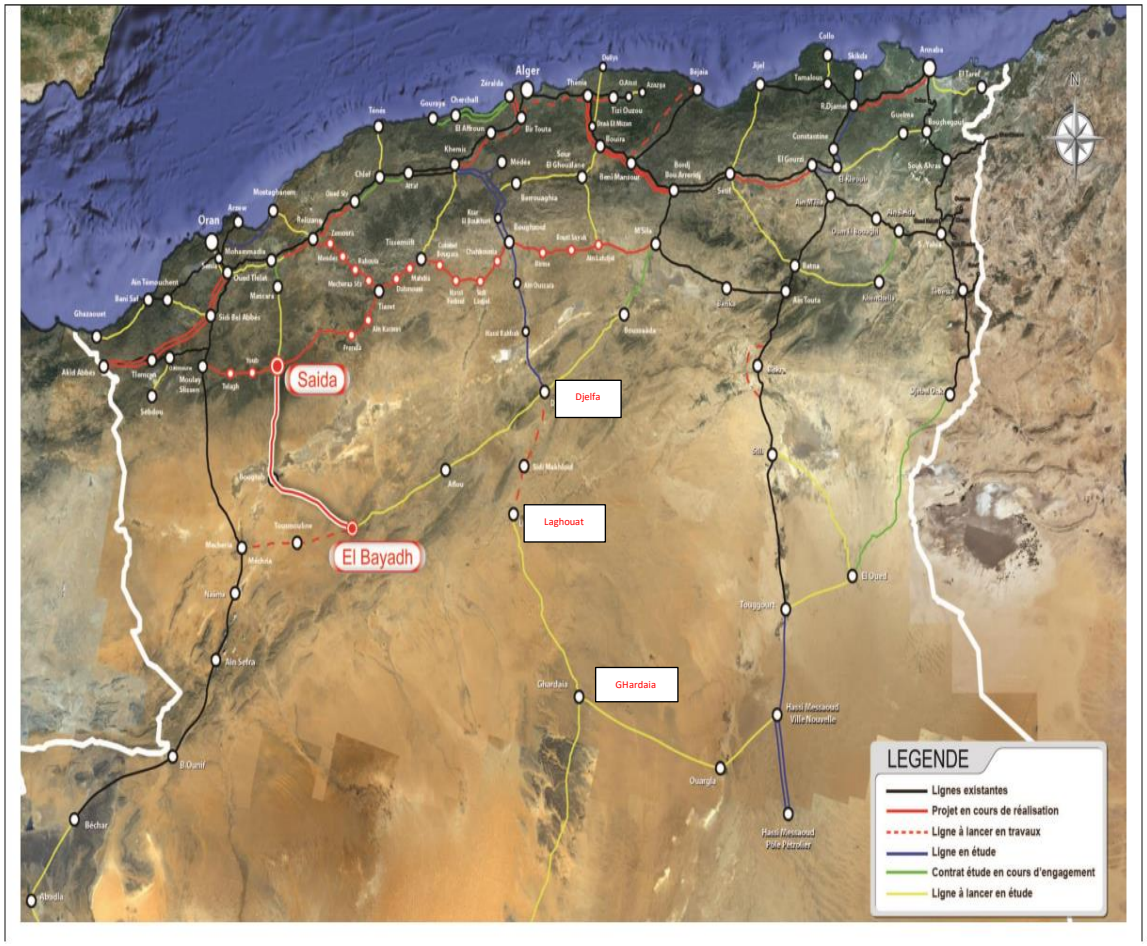


Figure IX.1 Réseau de chemin de fer en Algérie

IX.6.2. Estimation de la demande de trafic

IX.6.2.1. Présupposition de l'estimation de la demande de trafic

L'année de référence pour l'estimation de la demande de trafic de ce projet est l'année 2010, et l'année de début de l'estimation est l'année 2021, lors de la mise en œuvre du projet. L'année finale de l'estimation sera l'année 2051, 30 années après la mise en œuvre, en tenant compte la période d'endurance de la ligne ferroviaire.

- Année de référence : Année 2010.

- Année de début de l'estimation : Année 2021 (année de la mise en œuvre du projet).

- Années intermédiaires de l'estimation : Années 2026, 2031, 2036, 2041, 2046 (cinq années d'intervalle).

- Année finale de l'estimation : Année 2051 (30 années après la mise en œuvre).

IX.6.3. Estimation de la demande de transport ferroviaire

IX.6.3.1. Situation démographique actuelle et Estimation démographique

i. Situation démographique actuelle :

Le nombre de la population augmente d'une moyenne annuelle de 1,25 ~ 3,06 % dans chaque wilaya.

(Unité: Personnes)

Désignation	1987	1998	2008	2010	Taux d'augmentation
Laghouat	235 240	280 752	330 641	312 757	1,25 %
Ghardaia	155 494	226 528	228 624	278 100	2,56 %

ii. Estimation de l'évolution démographique :

En 2051, à l'année finale de l'estimation, la population de la Wilaya de Laghouat 782 071 personnes, et la Wilaya de Ghardaïa 873 485 personnes.

(Unité: Personnes)

Désignation	2021	2026	2031	2036	2041	2046	2051	Taux d'augmentation
Laghouat	411 499	446 718	484 316	536 622	616 251	707 695	812 709	2,29%
Ghardaia	336 215	388 947	449 372	516 392	593 018	681 016	782 071	2,85%

IX.6.3.2. Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours

Selon la circulation quotidienne moyenne, la proportion de la voiture est de 57,12 %, le taxi 15,51%, le bus 5,67%, et le transport des marchandises 21,7%, ce qui représente 78,3% pour la circulation des voyageurs.

(Unité: véhicule/jour)

Désignation	Voiture	Taxi	Bus	Transport des marchandises			Total
				Léger	Moyen	Lourd	
Laghouat	1 007	214	85	101	51	110	1 568
Ghardaia	768	268	91	244	46	122	1 539
Total	1 775	482	176	345	97	232	3 107
Taux de répartition	57,12 %	15,51 %	5,67 %	11,12 %	3,11%	7,47 %	100,0 %

IX.6.3.3. Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF

Estimation de la demande de transport des voyageurs et des marchandises à travers le taux de changement des moyens de transport des projets similaires.

(Unité: %)

Désignation		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Taux de changement moyen
Taux de changement en train par moyen de transport	Voiture	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7 %
	Bus	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2 %
	Train	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9 %
	Avion	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,6 %

Résultat de l'estimation :

Par chaque année d'estimation, la demande pour le transport des voyageurs est estimée à 255~732 personnes/jour.

(Unité: personnes/jour, tonnes/jour)

emande quotidienne	2021	2026	2031	2036	2041	2051
Transport de voyageurs	319	366	421	483	555	732
Transport de marchandises	1 508	1 839	2 243	2 735	3 336	4 962

IX.6.4. Plan de l'exploitation des trains

Afin d'établir les graphiques de circulation des trains, les points suivants seront appliqués.

- Prévision de la demande de transport (Résultats d'analyse de la population actuelle et de projection démographique, résultats de prévision de la demande de transport par application du trafic routier actuel des zones avoisinantes et du taux de transfert modal).

- Estimation du nombre des trains de voyageurs et marchandises à mettre en service et de l'intervalle entre deux trains successifs à travers l'analyse de la demande de transport.

- Analyse de la capacité de la ligne à voie unique.

- Estimation de la performance et du temps de marche sur le tracé de la ligne optimale par analyse de la simulation des performances des trains.

- Etablissement des graphiques de circulation et des horaires des trains par gare.

IX.6.4.1. Caractéristiques principales retenues par l'ANESRIF

- Ligne à voie unique Écartement standard (1435 mm en alignement)
- Entre les axes : 4,20 m
- Mode de traction: diesel / électrique
- Rampes et pentes:

  - en pleine voie : maximale 16 ‰

  - au niveau des gares : 00 ‰

- Vitesse maximale à prendre en compte dans l'étude :

  - voyageurs : 220 km/h.

- Tonnage supporté : 22,5 tonnes par essieu.

IX.6.4.2. Performances des matériels roulants

i. Train de voyageurs (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF) :

- Vitesse maximale : 250 km/h ;
- Vitesse maximale de circulation : 200 km/h
- Accélération maximale : 0,48 m/s²;
- Décélération minimale : -0,60 m/s²
- Charge maximale à l'essieu : 20 Tonnes (Poids du matériel : 6 essieux 120 tonnes)
- Longueur maximale d'un élément (train) : 150 mètres
- Composition d'un train = une locomotive de 23 m + six voitures de 20 m
- Amplitude du service (Plage horaire de circulation de train) pour l'estimation du volume de transport : de 07h à 21h (14 heures/jour).

ii. Train de fret (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF):

- Vitesse maximale de train : 140 km/h ; Vitesse maximale de circulation : 90 km/h
- Accélération maximale : 0,48 m/s²;
- Décélération minimale : -0,60 m/s²
- Charge à l'essieu : 22 Tonnes, Poids du matériel : 6 essieux 132 tonnes.
- Performance de traction : remorque d'un train de marchandises de 2100 T dans une rampe de 16‰
- Amplitude du service (Plage horaire de circulation de train) pour l'estimation du volume de transport : de 05h à 21h (16 heures/jour).

IX.6.5. Evaluation de la capacité d'une ligne ferroviaire

La capacité de ligne a été calculée sur la base du code UIC 405 et la formule de calcul est comme suit.

UIC 405 : capacité de la ligne = $\frac{T}{t_{fm}+t_r+t_{zu}}$

Où,

T : 1 jour (1440 minutes***)***

t_{fm}: Intervalle minimal moyen entre deux trains consécutifs, valeur moyenne de l'intervalle minimal pour l'ensemble des trains. 14 heures de transport des voyageurs par jour (voyageurs + marchandises = 15 trains (environs) /14 heures = 1 train /1 heure). Soit, = 55 minutes.

t_r: Temps libre de circulation (Temps ajouté à l'intervalle minimal pour la réduction des risques de retard des trains. Selon les critères de l'UIC 405, les valeurs de 0,33 ~ 0,67 de la moyenne de l'intervalle minimal sont appliquées en fonction du taux d'occupation maximale d'un tronçon unitaire lors de l'exploitation réelle) En cas de calcul de la capacité journalière (plus de 60% du taux d'occupation)

= 0,67 × = 0,67 × 55 minutes = 36,8 minutes

t_{zu}: Temps supplémentaire pour les services demandés sur l'ensemble de la ligne. Soit 0,25 minutes par heure. Il est calculé en multipliant 0,25 minutes par le nombre de tronçons sur la ligne.

5 gares + 5 gares de croisement = 10 tronçons

= 0,25 minutes 10 tronçons = 2,5 minutes

UIC 405 : Capacité de la ligne = 15 trains/sens/jour

IX.6.6. Evaluation du nombre de circulation de trains

IX.6.6.1. Estimation de la demande de transports servant à l'évaluation du nombre de trains à mettre en circulation :

- Le nombre de circulation de trains est évalué sur la base du volume de trafic de la zone d'étude et en tenant compte de la demande de déplacements estimée sur la ligne du présent projet et du développement régional.
- Estimation de la demande de transports de voyageurs
- Etablissement du plan d'exploitation des trains à l'horizon 2051 où la demande de transport des voyageurs et des marchandises sera maximale.

IX.6.6.2. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs :

Composition d'un train : 1 locomotive et 6 voitures pour les voyageurs ont été appliqués en vue d'analyser le nombre de trains optimal par rapport au nombre de voyageurs prévu

Type de train	Composition de train	Capacité par train (Nbre places assises)	Taux de charge	Capacité utile (avec le taux de charge)
Voyageurs	1 locomotive 6 voitures	360 pers. pour 6 voitures	150 %	540 pers. pour 6 voitures

La demande maximale du transport de voyageurs sera de 732 pers./jour en 2051. Même sans compter le taux de charge, un train peut offrir 360 places assises, de sorte que, cette demande maximale est assurée par 3 trains/jour. Pourtant, il convient de faire circuler 7 trains/sens/jour dans une hypothèse où un train démarre toutes les 2 heures pendant 14 heures par jour, et ce, afin d'offrir aux passagers ferroviaires un service public de transports en commun digne de ce nom. En principe, 7 trains de voyageurs/sens/jour seront mis en circulation, mais l'exploitation ferroviaire pourrait être flexible de manière à composer un train en ajustant le nombre de voiture compris entre 2 et 6 en fonction de la demande de transport des voyageurs.

IX.6.6.3. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de marchandises :

Composition d'un train de marchandises (train de fret)

- Longueur d'un wagon de fret : 14 m
- Longueur utile des voies en gare de marchandises : 800 m → permettre d'accueillir un train composé d'1 locomotive et de 55 wagons de fret.
- Masse de remorque des trains de marchandises (données de SNTF) : 2100 T dans une rampe de 16 ‰
- Masse totale d'un wagon de fret : 43,5 tonnes (masse à vide d'un wagon : 13,5 T + marchandises : 30 T)
- Capacité de remorque d'un train (hauling capacity of engine) : 48 wagons (2100 T / 43,5 T = 48,3 wagons ≒ 48 wagons)
- Capacité de transport par train de fret : 48 wagons x 30T = 1440 T / train
- L'évaluation du nombre de trains de fret (en 2051)

  - 4962 T/1440 T = 3,4 → 4 trains/jour

  - Le nombre de train de fret : 4 trains/jour (= 2 trains/sens/jour)

IX.6.6.4. Estimation du nombre de trains pouvant circuler sur la ligne :

Tableau IX.1 Estimation du nombre de trains pouvant circuler sur la ligne

Type de train	Laghouat /Ghardaïa
Voyageurs	***7***
Marchandises	***2***
Total	***9***

IX.6.7. Conclusion :

-Le nombre total des trains circulant sur la ligne est évalué à 09 trains à l'horizon 2051.

IX.6.8. Définition des voies nécessaires à l'exploitation :

IX.6.8.1. Principes de base pour l'étude de gares :

- Il faut élaborer le plan de gare de sorte à maximaliser le traitement des besoins du transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes, des plans d'urbanisme futurs, etc.
- Pour les dimensions de la gare, il faut tenir compte des installations voyageurs, de la conduction, des véhicules, des marchandises, des voies, de l'énergie et de la signalisation, ainsi que de la maintenance de ces installations.
- L'endroit doit faciliter le rassemblement et la dispersion, mais également la liaison avec les autres moyens de transport.
- L'endroit doit être exempt de déclivité ou courbe rapide devant et derrière la gare.
- Le terrain se doit d'être droit et plat dons la gare. Le terrain doit disposer de l'espace nécessaire, mais également tenir compte d'éventuelles extensions futures de la ville.
- Le terrain doit être en pente dans la zone d'arrivée et en descente dans la zone de sortie.
- L'endroit idéal tiendra compte des zones d'habitations alentours, de l'urbanisme, du besoin de transport, de la facilité d'utilisation, de l'efficacité d'exploitation et des points relatifs à la conduction des trains.
- L'endroit idéal tiendra compte de l'évolution des conditions futures, du raccordement aux autres lignes, etc.

IX.6.8.2. Etude de l'implantation de la gare :

Tableau IX.2 condition d'implantation et de transport

Schéma de situation	Analyse de la situation d'implantation
PK	PK 18+140 au PK 19+540 (Wilaya de Laghouat)
Conditions d'implantation	- L'implantation près des routes est favorable pour l'accès à la gare. - Localisation compte tenu des avis de la wilaya
Conditions de transport	Emplacement favorisant l'accès à la gare à partir de la route national n°1 et le chemin de Wilaya.
Conclusion	- Implantation de la gare près de la ville et de la zone de développement urbain afin de faciliter l'accès à la gare des habitants. - Etant localisée à proximité de l'intersection entre la route national n°1 et le chemin de Wilaya qui passe par Bellil, la gare est favorable à l'accès des habitants et à l'intermodalité permettant d'utiliser des autres modes de transport au cours d'un même déplacement.

IX.7. CARACTERISTIQUES DE LA GARE DE BELLIL :

A partir des calculs effectués dans le plan de transport, nous avons obtenu les résultats suivants pour le dimensionnement de notre gare :

Tableau IX.3 Valeurs obtenues pour dimensionnement de la gare de Bellil

Langueur de garage franc	Pour UIC 500- 1/12 : GF = 3.57*12 + 1= 43.84 m Pour UIC 300- 1/9 : GF = 3.57*9 + 1= 33.13m
Appareil de voie	UIC 60 – 1/12 et UIC 60 – 1/9
La longueur du quai	225 m
Largeur des quais	8m
Hauteur des quais	0.55m
La distance entre le quai et l'axe de la voie	1.65m
Entraxe des quais	4.2m
La longueur utile de stationnement	1200m

IX.8. ASSAINISSEMENT DE LA GARE :

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont dirigées grâce aux pentes transversales des plateformes qui sont inclinées 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 réseau d'assainissement via les regards de visite.

ELECTRIFICATION

CHAPITRE X : ELECTRIFICATION

X.1. INTRODUCTION

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. L'alimentation passe par un troisième rail ou une caténaire et le retour de courant se fait par les rails de la voie ou un quatrième rail dédié.

X.2. OBJET D'ETUDE

L'objet de cette étude et de décrire les critères de base pour la conception du système d'électrification de la ligne Laghouat – Ghardaïa, qui a une longueur L= 228.315km, circulant à une vitesse maximale de 220Km/h, avec les critères mécaniques et électriques appropriées.

Le nombre et la puissance des sous-stations de traction seront calculés pour assurer le trafic sous conditions normales et dégradées pour qu'on puisse attendre les critères d'exploitation exigées.

On peut diviser un système d'électrification en cinq grands ensembles :

- Lignes de haute tension pour l'alimentation des sous stations (Lignes HT SONELGAZ).
- Sous station de traction abaisseurs et ces équipements.
- Lignes d'alimentation du matériel mobile qui transportant l'énergie.
- Matériel mobile (trains)
- Courant de retour.

Afin de garantir l'alimentation en énergie, deux systèmes d'électrification sont proposé :

1- Le système 1X25 KV/50Hz.
2- Le système 2X25 KV/50Hz.

X.3. SYSTEME D'ELECTIFICATION

X.3.1. Système 1X25 KV/50Hz

Dans le système 1X25Kv, l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasé (ou plusieurs), le courant industrielle HT est reçu coté primaire, donnant coté secondaire une tension de 25 KV-50Hz.

L'énergie est donc transportée par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation, qui va être capté par le pantographe ensuite transformé sur la machine pour alimenter les moteurs de traction.

Il rejoint les rails par l'intermédiaire des essieux et des roues et retourne à la sous-station, à la fois par le sol et par les rails qui eux même sont reliés à la sous station par des câbles constituant l'arrière de retour.

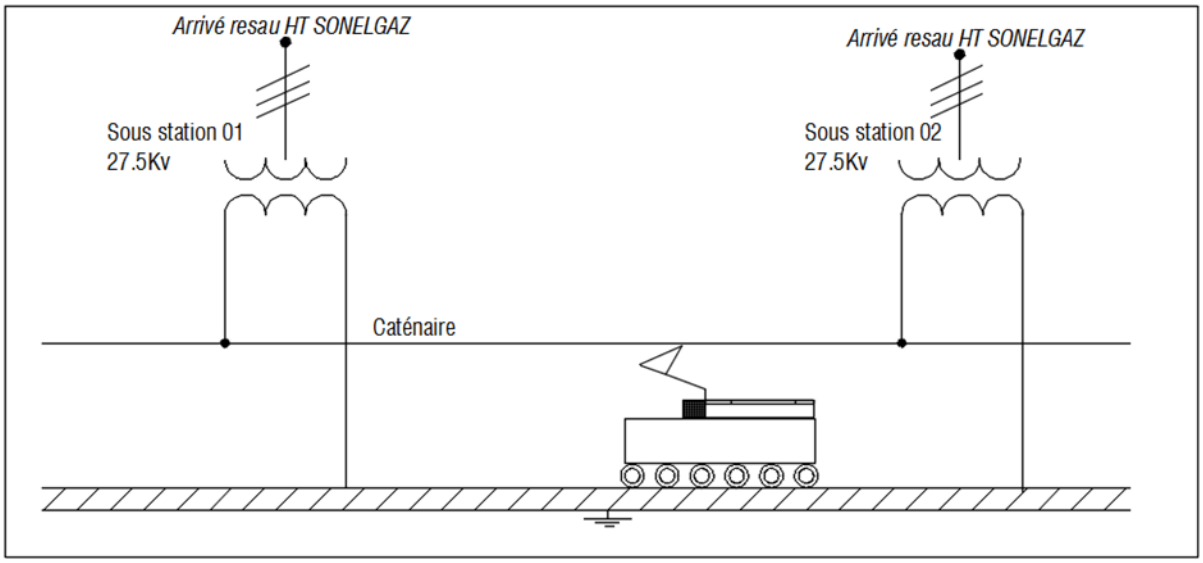


Figure X.1 Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV

X.3.2. Architecture du système 1x25 pour l'électrification de la ligne

L'électrification de la ligne sera adoptée à la circulation des trains voyageurs à une vitesse de 220Km/h, et ainsi les trains marchandise avec les critères mécanique et électrique appropriées.

La distance de séparation entre les sous stations varie de 30 à 45 Km selon les caractéristiques du tracé, vitesse maximale, trafic, tonnage transporté, et le type du matériel roulant.

Par conséquent pour l'alimentation de la ligne objet de cette étude, qui a une longueur maximale de 470 km avec le système 1X25kv, l'architecture suivante est proposée :

- 6 Sous stations de traction avec deux transformateurs chacune.
- 5 PSMP (poste de sectionnement et mise en parallèle a la limite des zones d'actions des sous stations.

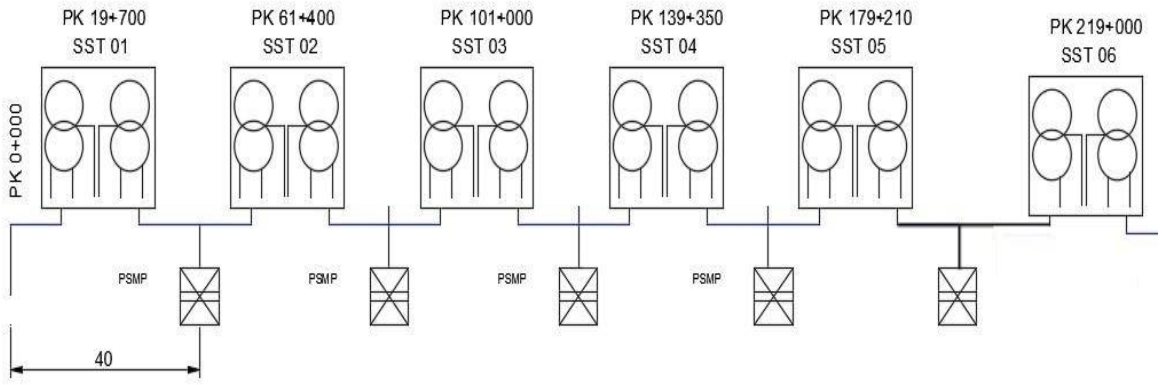


Figure X.2 Architecture du système d'électrification 1X25Kv pour la ligne

X.3.3. Système 2X25Kv

Dans le système 2X25Kv, les autotransformateurs sont utilisé pour fournir une tension double par rapport la tension d'alimentation du matériel roulant.

L'avantage de ce système est que la tension du pantographe reste à 25Kv, mais la potentialité est supérieure puisqu'en fournissant de l'énergie a 50KV, les courants sont partagé a deux, et donc les chutes de tension sont inférieurs, ce qui nous permet d'augmenter la longueur des sections avec, et par conséquence, une réduction du nombre des sous stations.

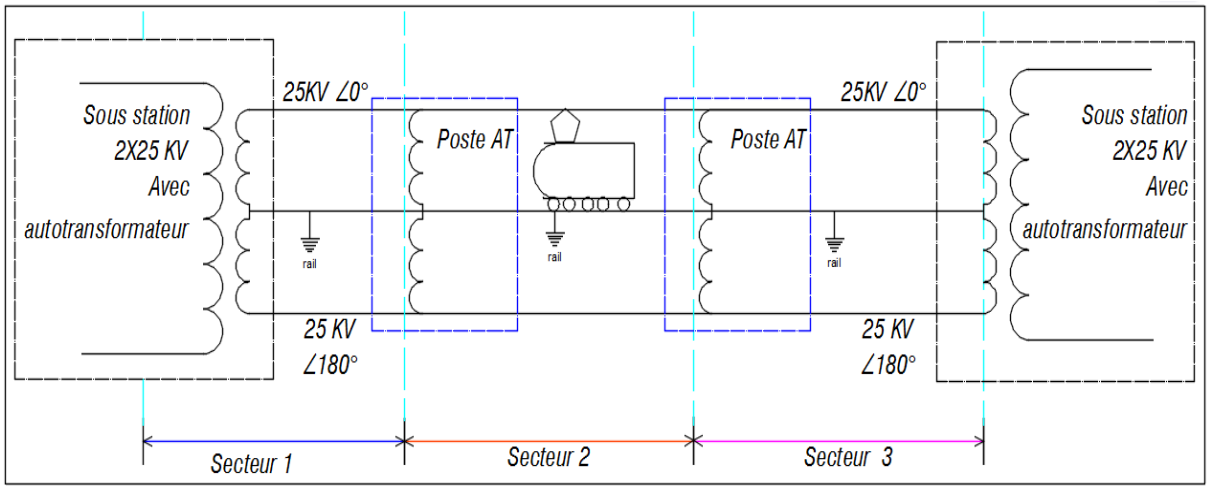


Figure X.3 Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs.

Le système d'électrification 2x25KV nécessite à des intervalles réguliers de postes autotransformateurs permettant de minimiser les chutes de tension ce qui permet d'augmenter notablement l'intervalle entre sous-stations de traction.

Dans le système 2x25 kV, on peut estimer une distance de séparation maximale entre sous-stations d'approximativement 55 – 90 km. Ces valeurs peuvent varier en fonction du trafic, caténaire employée, vitesse de la ligne, etc.

X.3.4. Architecture 2X25Kv pour la ligne

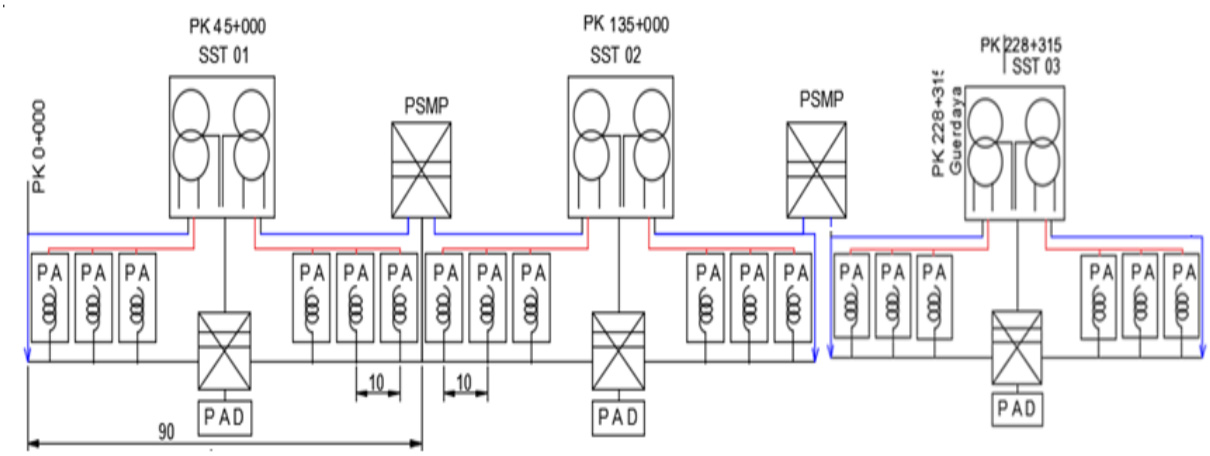


Figure X.4 Architecture d'alimentation électrique avec le système 2X25Kv

X.4. ANALYSE COMPARATIVES DES DEUX SYSTEMES

X.4.1. Système 1X25

Avantages	Inconvénients
➢ Le système 1x25 KV ne nécessite pas la mise en place d'autotransformateurs ni de dispositifs de coupure et de télécommande / telé-controle (SCADA) supplémentaire. ➢ L'installation d'un feeder négatif n'est pas nécessaire. ➢ Les transformateurs ont une puissance moins élevée et sont donc plus petits. ➢ Une simplicité de fonctionnement comparant au système 2X25kv. ➢ Niveau d'isolement moindre suite à l'utilisation des tensions moins élevé que dans le système 2X25Kv.	➢ Les sections d'alimentation sont plus courtes que le système 2x25KV, d'où un nombre très important de sous-stations. ➢ Plus de points de raccordement HT qui cause des frais supplémentaires. ➢ Les rails sont plus sollicités, que dans le système 2x25KV, par les intensités cumulées du courant de retour de tous les trains se trouvant simultanément dans un secteur d'alimentation. ➢ Champ magnétique rayonnant par les perturbations électromagnétiques causées par le système 1x25KV sur les installations limitrophes sont plus importantes que dans la solution 2x25KV. ➢ Chutes de tension électrique suite au transport de l'énergie avec des tensions moins élevé (25Kv).

X.4.2. Système 2X25

Avantage	Inconvénient
➢ Possibilité de réaliser des distances plus importantes entre les sous-stations, et par conséquent un nombre plus réduit de sous-station (le trafic égal et la chute de tension admise au pantographe équivalente, le nombre de sous-stations est pratiquement divise en deux). Ceci limitera notablement le nombre de points de raccordements au réseau de SONELGAZ. ➢ Plus petite chute de tension électrique et par conséquent des pertes mineures suite au transport de l'énergie avec des tensions plus élevé (50KV). ➢ Le système 2X25KV peut travailler comme le système 1X25Kv, mais jamais le contraire, ce qui nous offre plus de flexibilité. ➢ Un déséquilibre moindre sur le réseau SONELGAZ suite à la diminution des points de raccordement HT.	➢ Nécessite d'installer des autotransformateurs le long de la ligne. Ceci est largement compensé par le nombre réduit des sous-stations et des points de raccordements au réseau de SONELGAZ. ➢ Transformateurs de plus grande puissance à cause des sections d'alimentation importantes et le déséquilibre de tension localement provoqué sur le réseau de SONELGAZ est important. Ce déséquilibre de tension peut être réduit en choisissant de points de raccordements avec des niveaux de tension plus importante. ➢ Le feeder négatif nécessite un isolement par rapport à la caténaire de 50kv. Cette isolation nécessite plus de place dans les tunnels et sous les ponts. ➢ Surcouts pour fournitures et le montage à cause de I nécessite de disposer de deux pôles pour équipements des sous-stations et autotransformateurs.

X.5. ANALYSE ECONOMIQUE

X.5.1. Le cout du système 1X25KV

Sous station de traction 1X25Kv	*655,000,000 Da*
Poste de sectionnement	*20,000,000 Da*
Système de contrôle SCADA pour chaque sous-station.	*150,000,000 Da*
Cout kilométrique Caténaire 1X25Kv	*19,640,000 Da*

X.5.2. Le cout du système 2X25KV

Cout d'une Sous station de traction 2X25Kv	800,000,000 Da
Poste auto transformateur simple	180,000,000 Da
Cout kilométrique Caténaire 2X25Kv	20,710,000 Da
Système de contrôle SCADA pour chaque sous-Station. 2X25Kv	216,000,000 Da

X.5.3. Cout du raccordement HT

Les facteurs à prendre en considération pour les raccordements HT sont :

- Typologie de la ligne : Aérienne ou souterraine
- Longueur de la ligne.
- Tension de la ligne (220,60Kv)
- Pour ce projet il est recommandé d'utiliser le raccordement aérien qui est cinq fois moins cher que le souterrain.
- La distance de raccordement des sous station est 12.5Km .
- Les couts du raccordement HT du réseau SONELGAZ sont déterminés dans le tableau suivant :

Cout kilométrique du la ligne aérienne SONELGAZ	14,000,000 Da
Cout travée ligne extérieur pour chaque sous station	165,000,000 Da

X.5.4. Cout Global de l'électrification de la ligne

Pour le système 1X25KV :

Désignation	U	Prix unitaire (DA)	Total(DA)
Sous station de traction 1X25KV	6	655,000,000	3,900,000,000
Poste de sectionnement 1X25KV	5	20,000,000	100,000,000
Caténaire 1X25KV(Km)	228	19,640,000	4,477,920,000
Système SCADA 1X25	6	163,000,000	978,000,000
Raccordement HT 220Kv/Km	170	14,000,000	2,380,000,000
Travée ligne extérieur/Sous station	5	165,000,000	825,000,000
		Total	12,690,920,000

Pour le système 2X25KV :

Désignation	U	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
Sous station de traction 2X25KV	3	800,000,000	2,400,000,000
Poste autotransformateur simple PAS	18	180,000,000	3,240,000,000
Caténaire 2X25KV/Km	228	20,710,000	4,721,880,000
Système SCADA 2X25 KV	3	216,000,000	64,800,0000
Poste de sectionnement entre SS	2	20,000,000	40,000,000
Raccordement HT 220KV/Km	80	140,000,00	1,120,000,000
Travée Ligne Extérieur/Sous station	2	165,000,000	330,000,000
		Total	12,499,880,000

X.5.5. Conclusion

L'analyse économique démontre bien que le système d'électrification 2X25kv est moins cher que le système 1X25 KV dans le cadre de ce projet.

X.6. LE RACCORDEMENT HT DES SOUS STATIONS

Les facteurs à prendre en compte pour le coût de raccordement a HT sont les Suivants :

- Typologie de la ligne : aérienne ou souterrain.
- Longueur de la ligne.
- Tension de la ligne (63Kv, ou 220KV) selon la disponibilité.

X.6.1. Les sous stations SONELGAZ HT disponibles

Sous station	*Coordonnées GPS*	*Image*
POSTE HT HASSI RMAL	*32°56'9.89"N 3°14'15.05"E*	
POSTE HT LAGHOUAT	*33°45'0.99"N 2°53'42.62"E*	
POSTE HT GHURDAYA	*32°30'23.13"N 3°41'6.73"E*	

X.6.2. Raccordement pour le Système 1X25KV

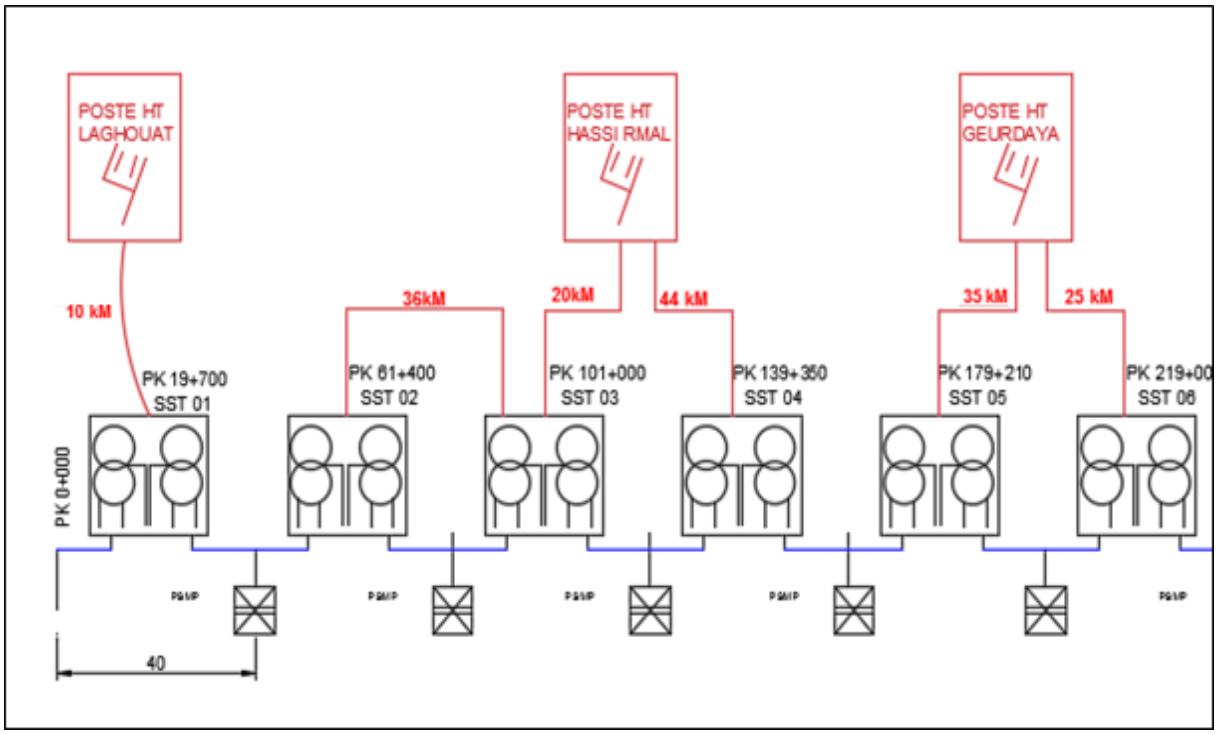


Figure X.5 Alimentation HT des SST 01-06 depuis les sous stations HT disponibles.

X.6.3. Raccordement pour le Système 2X25KV

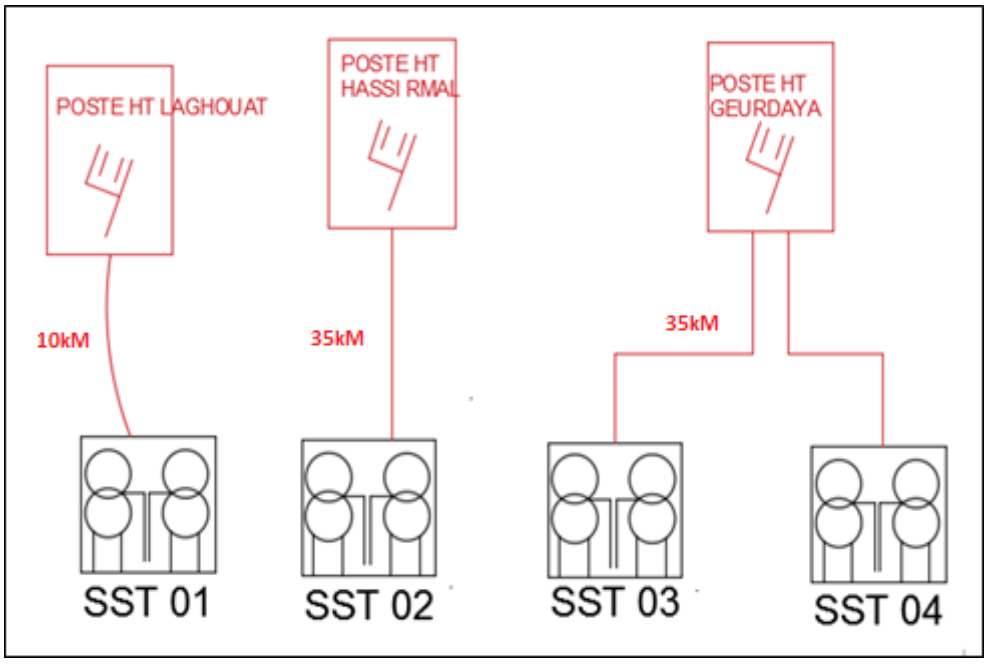


Figure X.6 Alimentation HT des SST 01-04 depuis les sous stations HT disponibles.

X.7. LES SOUS STATIONS

X.7.1. Définition

Le courant utilisé pour la traction électrique étant produit et transporté sous forme de triphasé à haute tension qu'il faut abaisser, c'est le rôle des « sous-stations ».

En ce sens, une sous-station étant un ensemble des équipements groupés dans un bâtiment ou à l'air libre permettent de transformer l'énergie fournie par les centrales sur un réseau public, ou un réseau spécial en énergie utilisable par les engins de traction.

Se sont donc des postes fixes destinés à l'alimentation des lignes caténaires sous la tension d'utilisation des engins moteurs. Ces derniers sont composés essentiellement d'un jeu de barres sectionné auquel sont reliés, par l'intermédiaire de disjoncteur :

- Du côté amant, la ligne HT de SONELGAZ.
- De l'autre côté, deux transformateurs monophasés lesquels sont connectés à deux lignes parmi les trois phases du réseau de SONELGAZ.

X.7.2. Equipements des sous-stations

Les sous-stations, ainsi que nous l'avons dit, composées d'un l'ensemble des équipements groupés dans un bâtiment ou à l'air libre permettant de transformer l'énergie fournie en une énergie utilisable par les engins de traction. En ce sens, la sous-station comprend :

- Un poste extérieur, composé d'un jeu de barres et des équipements de protection et de coupure permettant de séparer les lignes et la sous-station,
- Un ou plusieurs groupes de transformation,
- Des départs caténaires avec des moyens de sectionnement.
- Des auxiliaires.

X.7.3. Définition du poste extérieur

Chaque sous-station comprend, tout d'abord, une alimentation en courant alternatif par des lignes ou des câbles haute tension reçus sur des jeux de barres par l'intermédiaire d'un disjoncteur couplé entre deux sectionneurs.

Le poste extérieur est équipé également de transformateurs d'intensité et de potentiel qui permettent l'alimentation des appareils de mesures et des relais de protection.

Tableau X.1 Des composants HT d'un poste extérieur et leurs rôles

Composant	**Rôle**
Parafoudres HT	Protection des phases contre les surcharges atmosphériques.
Sectionneurs triphasé HT avec couteau de mise à la terre	Coupure à vide.
Transformateur de tension (TP)	La mesure d'énergie électrique consommée par la traction électrique, l'indication de la valeur de tension, la réalisation du système de protection par relais, en cas d'apparition de défauts qui surviennent dans le réseau électrique triphasé.
Transformateur de courant (TC)	La mesure d'énergie électrique consommée par la traction électrique, l'indication de la valeur du courant, la réalisation du système de protection par les relais de protection numériques, en cas d'apparition de défauts qui surviennent dans le réseau électrique triphasé.
Disjoncteur tripolaire, bipolaires et mono polaire	mise en charge et la mise hors charge du circuit électrique.
Jeux de barres	assurer la séparation électrique d'une tranche de transformateur en cas de problème.
Sectionneur à pantographe	permuter les phases en cas de déséquilibre entre les phases du réseau de SONELGAZ.
Groupes de transformateurs :	l'alimentation en tension monophasée 25 KV des installations caténaires des voies électrifiées.

Tableau X.2 Des équipements moyens tension MT

Equipement	Rôle
Interrupteurs unipolaires 25 kV	mise en charge ou hors charge des jeux de barres 25 kV et donc des départs caténaires.
Cellules pour les départs caténaires	l'alimentation en énergie électrique monophasée à la tension 25 kV des caténaires.
Cellules pour transformateurs de puissance	la mesure respectivement des courants et des tensions au niveau des départs caténaires et assurent la protection.
Cellules pour les services auxiliaires	l'alimentation des services auxiliaires à la tension 230 V.

X.7.4. Mode de fonctionnement des sous-stations

La sous-station étant équipée de deux transformateurs de traction monophasés. Chaque transformateur est raccordé à deux phases parmi les trois phases du réseau de SONELGAZ. Des sections neutres sont installées entre les secondaires des transformateurs empêchant le chevauchement des phases

Tableau X.3 Des modes de fonctionnement des sous-stations

Mode	Description
Mode de fonctionnement normale	En mode d'exploitation normal, les deux transformateurs fonctionnent en même temps alimentant chacun une section dans un seul sens.
Fonctionnement en mode dégradé de catégorie 01	Il s'agit en générale d'une défaillance d'un transformateur de traction dans une sous station Avec cette défaillance, on basculera vers la mode dégradé 1 des sous stations là ou un seul transformateur est utilisé pour alimenter les deux sous sections.
Fonctionnement en mode dégradé de catégorie 02	C'est le cas d'une défaillance totale d'une sous station de traction, dans ce mode, la sous station adjacente alimente la section de la sous stations qui est hors service. Dans ce cas, on ouvre les sectionneurs qui reliant la sous station en panne et en ferme les sectionneurs des sections neutres adjacentes afin de permettre a chacune des sous-sections d'être alimentés par les sous stations voisines

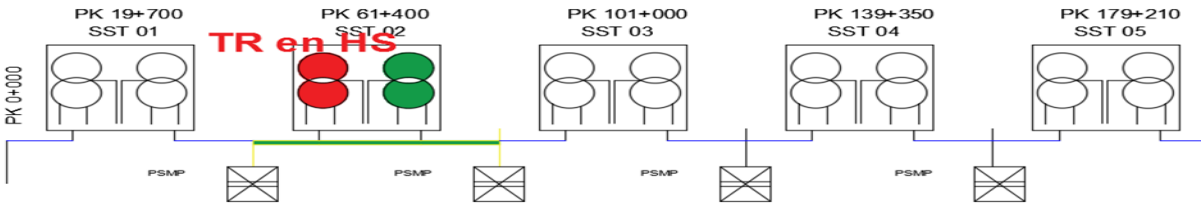


Figure X.7 Fonctionnement avec un transformateur hors service mode dégradé 1.

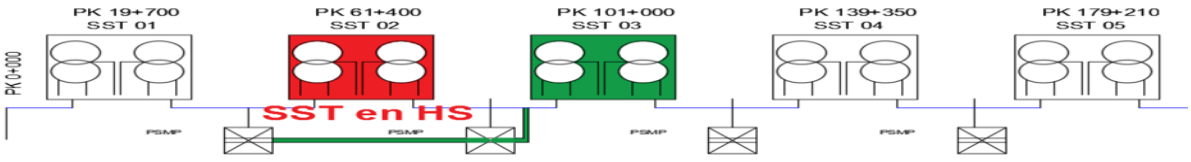


Figure X.8 Fonctionnement avec un transformateur hors service mode dégradé 2.

X.7.5. Schéma unifilaire d'une sous station 2X25 KV

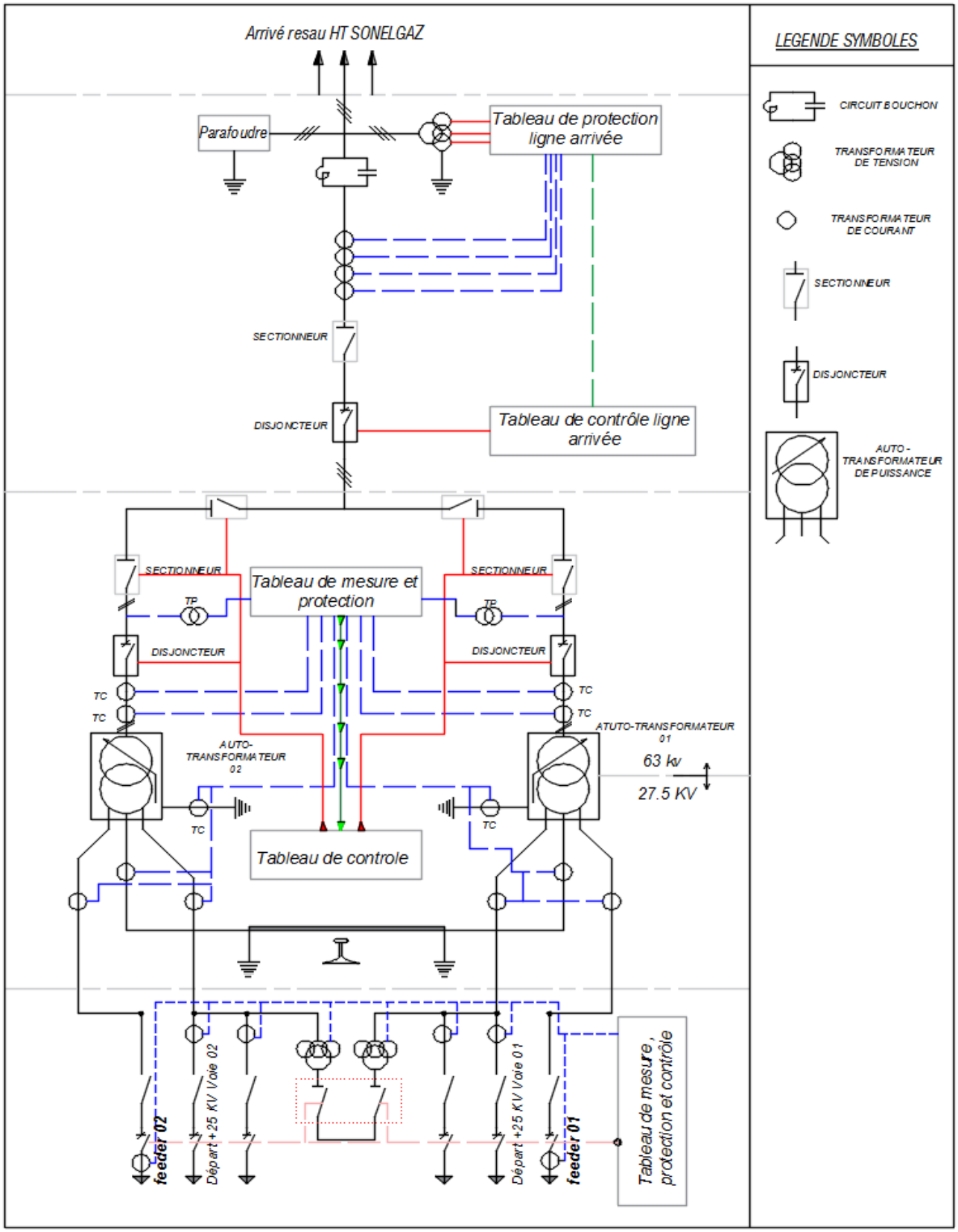


Figure X.9 Sous station 2X25 KV

X.8. CATENAIRE

La caténaire est l'ensemble des installations qui permettent aux locomotives électriques d'utiliser l'énergie produite par les sous stations de traction.

Cette dernière comprend :

- Les lignes de contact à suspension caténaire.
- Les feeders.
- Diverses adjonctions de caractère électrique a la voie de roulement qui servant au retour du courant.

X.8.1. Les éléments de la caténaire

X.8.1.1. Les supports

Le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges.

Généralement les supports utilisées pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelées (JHE-A, JHEB) fixés au sol par un massif en béton à une profondeur qui dépend de la nature du sol et de la force qu'exerce la caténaire sur le poteau. Un petit dé en mortier couvre le pied du poteau pour le protéger de la corrosion.



Figure X.10 Caténaire

Le volume du massif dépond de :

- Les caractéristiques géotechniques du sol
- La charge du support (simple, sectionneur, contre poids)
- La force du vent.

X.8.1.2. Le fil de contact

Le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives, il doit être conforme aux normes EN50149.

Sa section circulaire comprend deux rainures pour la prise des griffes de suspension, suivant la tension d'alimentation et la puissance demandée, la section varie de 107mm² à 150mm².

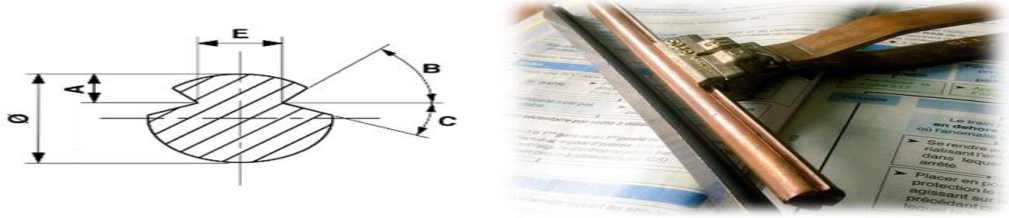


Figure X.11 Fil de contact 107mm² rainures pour caténaire 1x25Kv

X.8.1.3. Le Câble porteur

Le porteur peut être en cuivre Cu, bronze, ou en Al-acier, en fonction des critères dynamiques et des résultats du dimensionnement électrique. Dans le cadre de ce projet, le porteur recommandé est de 65mm² de section en bronze.

X.8.1.4. Circuit de retour

Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établie afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système. Les types de câbles à utiliser peuvent être en Al ou Al-acier.

X.8.1.5. Les pendules

Le fil de contact est suspendu au câble porteur par les pendules, ils reliant de leur part un cavalier sur le câble porteur et d'autre part une griffe sur le fil du contact.

X.8.1.6. Les Consoles

Les consoles sont de type triangulaires composé des éléments suivants :

- Tube de corps de console.
- Hauban de console.
- Tube anti balançant.
- Pendules de suspension de l'anti-balançant.
- Bras de rappel.
- Isolateur de corps de console.
- Isolateur hauban de console.
- Suspension porteur.
- Articulation de console.
- Articulation du pied de console.

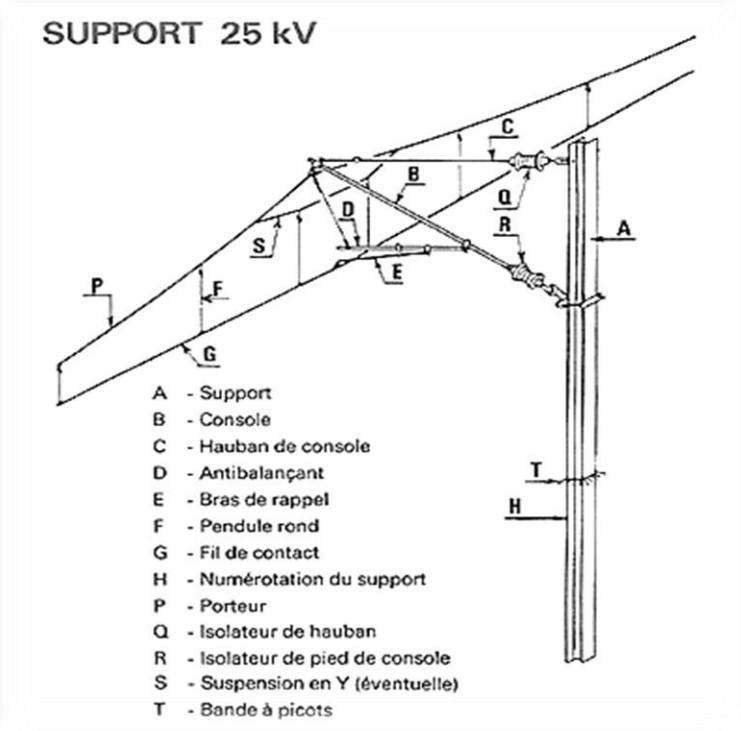


Figure X.12 Composant des consoles

Les consoles doivent respecter les points suivants :

- Soutenir la caténaire, les isolateurs et autres équipements associées (isolateur de section etc…)
- Etre munies de connections électriques qui garantissant la continuée électrique aux articulations.
- Garantir les mouvements des conducteurs dans toutes les conditions climatiques
- Préserver la hauteur du fil de contact, et son désaxement.
- Protection contre corrosion et les conditions climatiques extrêmes pour réduire la maintenance.

X.8.2. Caractéristique géométrique de la caténaire

La caténaire de la ligne doit respecter les caractéristiques géométriques suivantes :

Hauteur du fil de contact	5.08m
Encombrement à ciel ouvert	1.25m
Encombrement en tunnel	0.60m
Sectionnement à ciel ouvert	De 1.25m a 2.00 m
Sectionnements dans les tunnels	De 0.60m a 1.60m
Différance de hauteur du fil de contact entre deux suspensions consécutives	Max = 10mm
Portée maximum à ciel ouvert (zone non ventée)	65m
Portée maximum à ciel ouvert (zone ventée)	54m
Portée maximum en tunnel	50m

X.9. CONCLUSION

En comparant les avantages et les inconvénients des deux systèmes 1X25KV et 2X25KV et en prenant compte de l'analyse économique on opte pour le système 2X25KV.

SIGNALISATION

CHAPITRE XI : SIGNALISATION

XI.1. INTRODUCTION

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire lui donnant, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverses, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager, des prescriptions concernant la traction électrique, etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

XI.2. OBJECT DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

Les signaux qui ont été conçus à l'origine pour obtenir l'arrêt des trains sont complétés aujourd'hui par une signalisation d'annonce; en effet, compte tenu de la vitesse et la masse croissantes des trains, il est nécessaire d'avertir le conducteur de conditions de circulations plus restrictives qu'il est susceptible de rencontrer en aval de l'endroit où il se trouve.

La signalisation s'adressant aux trains circulant en vitesse est donc constituée le plus souvent d'un "couple" de signaux (annonce et exécution).

Les indications portées par les signaux ont pour but de donner aux agents concernés de prescrire l'arrêt, une limitation de vitesse, éventuellement une indication de direction et les informations qu'ils doivent respecter afin d'assurer la sécurité des circulations, des travaux, celle des agents qui les exécutent et celle des tiers. Elles constituent une convention au moyen de laquelle les exploitants, les mainteneurs de l'infrastructure et les conducteurs communiquent entre eux.

XI.3. LES RISQUES FERROVIAIRE

Les trains doivent circuler en toute sécurité. Les risques majeurs liés aux circulations ferroviaires sont les suivants :

- Le rattrapage des trains qui circulent dans le même sens sur la même voie.
- La prise en écharpe, c'est-à-dire la collision latérale de trains qui circulent sur des itinéraires convergents.
- Le nez à nez, c'est-à-dire la collision frontale de trains qui circulent en sens contraire sur la même voie.
- Le déraillement.
- La collision avec un obstacle.

On prévient ces risques notamment par :

- La mise en place d'une signalisation.
- L'établissement d'un régime d'exploitation de la ligne.
- La mise en place d'un système d'espacement des trains.
- La mise en œuvre de procédures d'exploitation.

XI.4. LES SIGNAUX

Pour transmettre au conducteur des ordres et informations liées à la sécurité des circulations, des signaux sont utilisés.

a- La signalisation à main :



Figure XI.1 Signalisation a main

b- La signalisation au sol :

La signalisation au sol est normalement implantée à gauche ou au-dessus de la voie concernée.

- **Signaux de protection :**



Les signaux de protection sont destinés à interdire l'accès à un itinéraire.

Ils sont généralement manœuvrés depuis des postes par des agents.

- **Signaux de cantonnement :**



Les signaux de cantonnement sont destinés à assurer l'espacement des circulations de même sens.

- **Signaux d'annonce d'arrêt :**



avertissement



feu jaune clignotant

- **Signaux d'indication de marche :**



feu vert



feu vert clignotant

- **Signaux de limitation de vitesse :**



TIV fixe à distance indiquant la vitesse à respecter

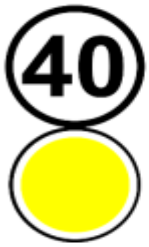


pancarte Z signal d'exécution indiquant le début de la zone à parcourir à vitesse limitée



pancarte R signal de reprise indiquant la fin de la zone à parcourir à vitesse limitée

- **Les limitations temporaires de vitesse :**



TIV à distance
Disque jaune si
V ≤ 40 km/h



TIV d'exécution

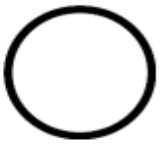


tableau blanc de reprise

- **Signaux indicateurs de direction :**

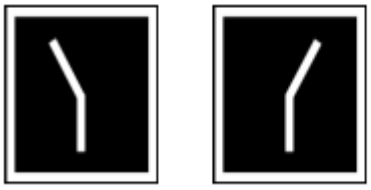


tableau indicateur de direction
à distance
(TIDD)



indicateur de direction
(ID)

- **Signaux caractéristiques de prescriptions particulières :**

Ils renseignent les conducteurs sur des particularités.

On trouve :

- Des tableaux :



accès direct vers
une voie de service

- Des pancartes :



ouvrage d'art à
gabarit réduit

- la bande lumineuse jaune :



La bande lumineuse jaune horizontale est utilisée en complément de l'avertissement. Elle indique au conducteur que son train est dirigé vers une voie à quai de courte longueur ou bien que sa longueur se trouve réduite.

XI.4.1. Sous-système signalisation ERTMS

ERTMS est un système de contrôle/commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Il est composé de :

- L'ETCS (European Train Control System) qui est le système de commande contrôle des trains.
- GSM-R qui sert de support radio à ce dernier. L'interopérabilité permet d'augmenter la capacité des lignes assurant une plus grande rentabilité pour les opérateurs.

L'ERTMS permet aussi :

- La circulation des trains à la vitesse maximum de 220 km/h sur la base d'une signalisation de cabine associée à un contrôle de vitesse de sécurité.
- Le système ERTMS assure, l'espacement des trains, et la fonction de supervision et de contrôle de la vitesse des trains.

Les niveaux de l'ERTMS :

On distingue trois niveaux, en fonction de la manière suivant laquelle l'autorisation de mouvement est fournie au train :

- Niveau 1 : le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons). La signalisation latérale est nécessaire.

- Niveau 2 : le train se repère à l'aide des balises au sol, transmet sa position au centre de contrôle via le GSM-R, qui lui communique son autorisation de mouvement en fonction de l'occupation des autres cantons. La signalisation latérale est optionnelle.
- Niveau 3 : le train se repère à l'aide des balises au sol, échange ses données avec le centre de contrôle et détermine lui-même son autorisation de mouvement en fonction de la position des autres trains. La superposition avec signalisation latérale ou une autre signalisation en cabine n'est pas envisagée.

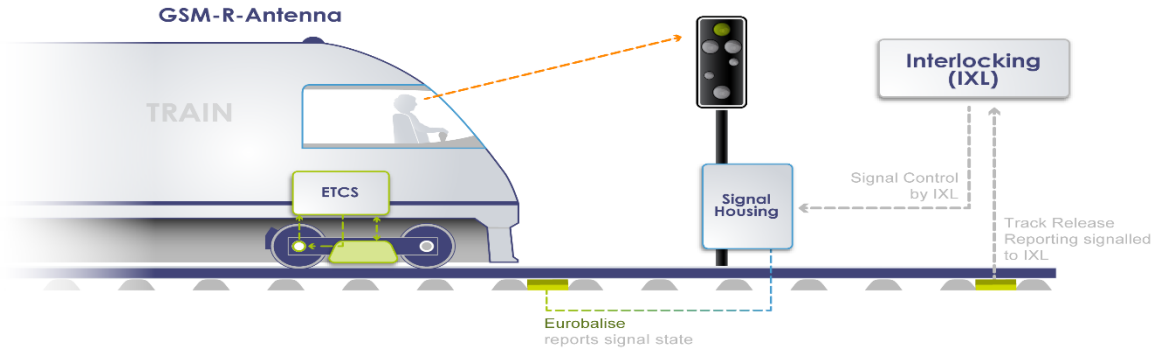


Figure XI.2 Européen Train Control System (ETCS)

ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XII : IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1. INTRODUCTION

L'étude d'impact sur l'environnement décrit le contexte d'insertion et de justification du projet, elle présente une description des différentes composantes du milieu récepteur. Cette étude est un instrument privilégié dans la planification du développement et d'utilisation des ressources et du territoire. Dans le cadre des projets de tracé des voies ferrées, l'étude d'impact sur l'environnement suit les différentes phases de la conception du projet.

L'étude d'impact sur l'environnement du projet de la ligne ferroviaire électrifié LAGHOUAT GHARDAIA du PK 54 +000 au PK 73+500 fait l'objet d'une démarche logique en se basant sommairement sur les points suivants :

- Présentation générale du projet ; et le cadre législatif régulant son intégration dans le milieu naturel et anthropique.
- Description environnementale de la zone d'étude.
- Identification des contraintes environnementales que subira le projet et qui doivent être prises en considération durant la phase de réalisation.
- Identification des impacts engendrés par le projet sur l'environnement de l'aire d'étude.

XII.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

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

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

XII.3. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT

Contrairement au Nord de l'Algérie, qui est un espace compartimenté, segmenté, où la circulation est largement freinée par le relief et son découpage tortueux, le Sud algérien est un espace ouvert, relativement plat, qui peut être décrit assez simplement par quelques grands traits spécifiques. Ce relief résulte de la dynamique des plaques terrestres.

Il s'agit de la flexure sud-atlasique, frontière entre les plaques Africaine et Eurasienne, qui marque la jonction entre l'atlas tellien au nord et l'atlas saharienne au sud selon un axe ouest-sud-ouest / est-nord-est. Au sud de cet accident tectonique, commence la basse plate-forme saharienne, plate-forme dont l'unité n'est qu'apparente.

XII.3.1. Géomorphologie

De par sa position géographique et ses caractéristiques climatiques, la Wilaya de Laghouat fait partie du groupe des neufs Wilayas pastorales du pays ainsi que des Wilayas du Sud. Sa

superficie est de : 25 052 km², comprend 24 communes, réparties sur 10 daïras, Elle est limitée par la wilaya de Tiaret au Nord, la Wilaya de Ghardaïa au Sud, la wilaya de Djelfa à l'Est et Wilaya d'El-Bayad à l'Ouest.

Sur le plan naturel, elle est constituée de deux zones distinctes :

- La zone de l'Atlas Saharien caractérisée par des altitudes allant de 1.000 à 1.700 m avec des pentes de 12,5 à 25 %. Cette zone au Nord-Ouest de la Wilaya (régions d'Aflou et Brida). Elle est constituée de vieux massifs forestiers d'une superficie de : 47.095 ha, de nappes alfatières couvrant une superficie de 315.125 ha ainsi que de pacages et parcours d'une superficie de 1.531.766 ha.
- La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux Sahariens caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1.000 m et des pentes de 0 à 3 %. Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques d'une superficie de 1.900.000 ha dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées.

XII.3.2. Climatologie

Le contexte géographique et topographique de l'aire d'étude définit les caractéristiques principales de la climatologie locale. De L´aride à l´hyperaride : les contraintes multiformes du climat saharien. Dans la typologie des déserts, le Sahara est identifié comme un désert subtropical, désert zonal chaud qui résulte de la subsidence de l'air sous l'effet des anticyclones permanents qui se produisent entre 25° et 35° de latitude, engendrés par les jetstreams.

Tableau XII.1 Températures de la WILAYA de LAGHOUAT

LATITUDE	ALTITUDE (M)	MOY. MOIS LE PLUS FROID	MOY. MOIS LE PLUS CHAUD
33º5	752	7º5	28º5

Découlant du relief, le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches.

Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable.

Dans la région sud de la Wilaya Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (Juillet) sont de 31 ° C. Alors que celles du mois le plus froid (Janvier) sont de 10°C.

Tableau XII.2 Données climatologiques mensuelles de la Wilaya de Laghouat

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	Moy
T_{moy}	24.9	18.7	13.2	10.2	8.7	9.1	12.1	19	21.6	25.9	31.6	31.3	18.8
Hum_{moy}	45	49	57	49	59	52	55	46	43	43	28	29	46
Nbre jours de chasse sable	03	04	03	07	01	09	02	05	03	00	09	03	49
précipitations en 1/10eme	18.6	15.9	10.1	0.4	6.3	0.4	50.6	42.5	22.9	29.6	8.1	6.6	21.2

XII.3.3. Milieu Humain

Tableau XII.3 Densité de la Population Wilaya de Laghouat

POPULATION 2014	SURFACE	DENSITE
603.878	25.052	24,10

Tableau XII.4 Concentration des Populations dans la Wilaya de Laghouat

POP. TOTALE	ACL Agglomérations Chef-Lieu	AS Agglomérations Secondaires	ZE Zone Éparse	% CHEF-LIEU
603.878	492.369	29.736	81.773	81,54%

Laghouat qui concentre plus de 81 % de sa population dans les A.C.L. voit néanmoins une part non négligeable de sa population (13.6%) habiter en zone éparse. A l'inverse d'Ouargla, la Wilaya dispose d'un potentiel important en matière de développement agricole qui génère un besoin important en main d'œuvre dans les exploitations agricoles.

XII.3.4. Topographie

La zone d'étude se caractérise par une topographie plane, uniforme et vierge. Les altitudes de la zone d'étude dévoilent des dénivelés peu importants variant de 827 m jusqu'à 780m sur une distance d'environ 19.5 km.

XII.3.5. Qualité de l'air

La qualité d'air est généralement acceptable pour la plupart des individus. Cependant, les personnes sensibles risquent de faire l'expérience de symptômes légers à modérés en cas d'exposition à long terme.

XII.3.6. Le milieu biologique

L'étude floristique à déterminer 30 espèces appartenant aux 29 genres et 14 familles. Les familles les mieux représentés sont : Asteraceae, Fabaceae et Poaceae avec 20%, 16% et 16% respectivement.

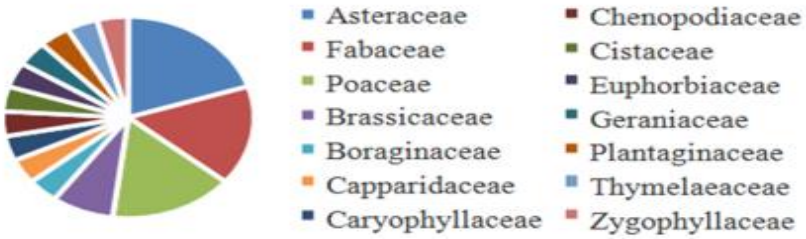


Figure XII.1 Répartition des familles des espèces végétales dans la Wilaya de LAGHOUAT

XII.4. IDENTIFICATION DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES SUR LE PROJET

Tous les facteurs biotique, abiotique et anthropique relevés dans la partie d'identification ont pour but de démontrer les interactions possibles entre le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa et l'environnement ambiant, cependant les paramètres engendrant des contraintes se résument comme suit :

XII.4.1. Les contraintes liées au milieu physique

Ces contraintes sont relatives aux : climat, géomorphologie et hydrologie, qui représentent le milieu physique de la zone d'étude.

XII.4.2. Contraintes relatives à la géomorphologie de la zone d'étude

La wilaya de Laghouat caractérisée par un relief d'altitude variant de 700m à 1700m peut entrainer un risque de générer des remblais et des déblais induisant un impact environnemental et économique. Marquant aussi que cette région est de vocation pastorale, la vulnérabilité de ce milieu présente aussi un risque de la perte de cette caractéristique presque unique dans la région.

XII.4.3. Contraintes relatives au climat

La wilaya de Laghouat présentée par un climat continental au Nord-Ouest et saharien à aride dans la région des Hauts Plateaux marquées par des chutes de neige et des gelées blanches en hiver et par une forte chaleur accompagnée de vents de sable en été, ce qui présente une contrainte significative dans la réalisation du projet.

XII.4.4. Contraintes relatives à la Température

La région Sud est marquée par des températures élevées (déjà mentionné dans le cadre physique) ce qui présente une contrainte en saison de grandes chaleurs pour la réalisation du

projet sur les moyens humains et matériels et l'infrastructure ferroviaire et électrique qui devra être doter d'un système adapter aux températures élevées.

XII.4.5. Contraintes liées à l'ensablement

Une partie de la wilaya de Laghouat appartient au grand Erg occidental qui constituent une véritable mer de sable présentant une contrainte considérable pour la réalisation du projet et les infrastructures ferroviaires don la nécessiter d'un matériel adéquat et des mesures supplémentaire en période critique.

XII.4.5.1. Phénomène d'ensablement

C'est un phénomène naturel définit par le déplacement des particules fines de sable à cause du vent ou d'eau d'une région a une autre. Alors lorsque les grains de sable transportées par les vents ou par les eaux s'accumulent quelque part sur le littoral, au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées plantées ou incultes. Autrement dit c'est un dépôt de sable formé par l'eau ou par le vent.

Le phénomène d'ensablement se fait quand 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.

On sait que le Sahara Algérien est couverte d'impressionnantes quantités de dépôt de sable du Grand Erg Occidental à l'ouest et du Grand Erg Oriental à l'est, notre zone d'étude se situe au milieu des deux, pour cela l'ensablement constitue un grand défi que l'état algérien fait face depuis des dizaines d'années.

Il existe 3 types d'ensablement :

- Le déplacement des particules fines.
- Les déplacements des sables des dunes.
- Le déplacement des particules causé par les grands vents.

XII.4.5.2. Facteurs qui influent l'ensablement

Afin de pouvoir résoudre le problème d'ensablement, on doit tout d'abord connaitre les facteurs responsables de ce dernier et on a :

1. **Le vent :**

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.

Le déplacement des particules du sol est lié à la direction, la vitesse et la durée du vent. On parle du vent dominant lorsqu'il souffle dans une direction privilégiée avec plus de fréquence. La vitesse du vent est nulle au niveau du sol et elle augmente quand on s'éloigne de la surface du sol comme le logarithme de la hauteur.

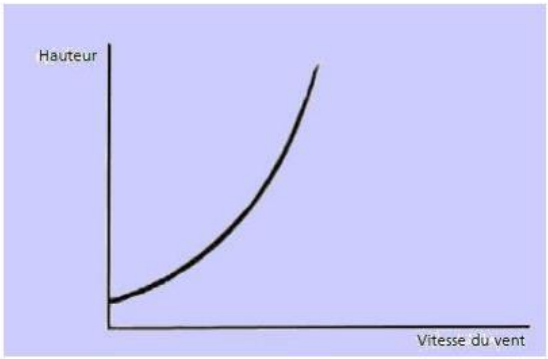


Figure XII.2 Variation de la hauteur en fonction de la vitesse du vent

2. La nature du sol :

Le sol présente certaines caractéristiques qui peuvent influencer sa vulnérabilité à l'attaque du vent tel que :

- sol meuble, sec et finement émietté.

- sol à surface uniforme.

- sol à couverture végétale absente ou clairsemée.

- sol sur zone suffisamment étendue dans le sens du vent.

On doit aussi prendre en considération la taille et la densité des particules tel que les particules dont le diamètre avoisine 0,1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents. La nature du mouvement des particules varie selon leurs dimensions à savoir par saltation, reptation et/ou suspension.

XII.4.5.3. Protection contre l'ensablement

Pour lutter contre l'ensablement, on propose les méthodes suivantes :

1. **Fixation de sable ou stabilisation des dunes et des sables volants** :

Lorsqu'on est très loin de la voie ferrée, on réalise cette fixation par :

- **Fixation chimique** : Des moyens chimiques colloïdes organiques et anorganiques, offrent une protection temporaire contre le transport du sable.
- **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. En Algérie, cette technique a été utilisée avec des dérivés de pétrole comme le bitume pour protéger la voie ferrée reliant Biskra à Touggourt contre l'ensablement.
- **Plantation** : stabilisation des dunes de sables par plantation si les conditions climatiques s'y prêtent car les dunes constituent un milieu qui offre des conditions difficiles d'installation et de croissance pour toutes les espèces végétales. Toute

plantation devra nécessairement tenir compte du choix des espèces pouvant s'adapter à ce milieu et de la profondeur de l'humidité résiduelle des couches sous-jacentes.

- **Stabilisation par des recouvrements face au vent** (cailloux, pierrailles).
- **Stabilisation par des revêtements en mailles** de 2m × 2m de tresse d'herbes séchées



Figure XII.3 Pin d'Alep



Figure XII.4 Cyprès vert



Figure XII.5 Parcelle d'Eucalyptus



Figure XII.6 Parcelle de Tamarix

2. Technique de palissade :

La palissade est un obstacle linéaire opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à la formation d'une dune artificielle « dune d'arrêt » qui constitue la première phase de la lutte contre l'ensablement et qui joue souvent le rôle de brise-vent et d'obstacle physique freinant le mouvement des sables. La nature de la palissade diffère selon les matériaux utilisés, elle peut être d'origine synthétique ou végétale comme la palme, l'alfa, le dis.

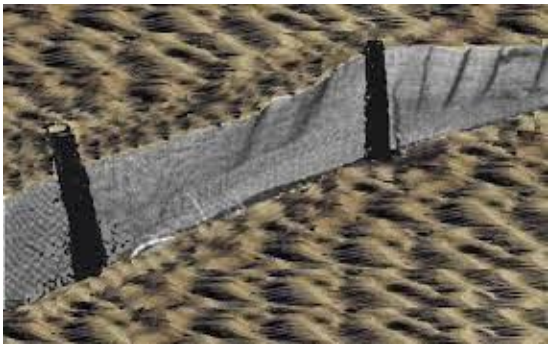


Figure XII.7 Palissade à base de grillage synthétique

3. **Technique de drâas :**

C'est une méthode de stabilisation traditionnelle de lutte contre l'ensablement. Le drâas est constitué par un tas de sable de forme oblongue stabilisé par des matériaux grossiers et/ou pierres. Ces barrages doivent être orientés d'après la configuration du terrain et l'action des vents dominants.

Il faut aménager entre les drâas, des couloirs longitudinaux et transversaux qui obligent les vents dominants à travailler contre leurs impulsions naturelles et à chasser le sable qui, sans eux, s'accumulerait sur la route.

4. **Méthode aérodynamique :**

Ce sont des techniques dont Le principe de base est d'utiliser la force du vent pour faciliter le transport du sable au niveau des sites à protéger et éviter son accumulation. Ce sont des méthodes qui visent à utiliser la vitesse et la capacité de transport du vent.

Les méthodes aérodynamiques s'appliquent en deux façons différentes soit :

- En lui faisant évacuer les dépôts de sable indésirables par des procédés qui augmentent la vitesse à leur contact et en s'assurant qu'il ne rencontre pas d'obstacle et transporte ainsi au loin les dépôts de sable.
- En profilant les obstacles rencontrés par le vent chargé de sable pour que sa vitesse ne soit pas diminuée à leur contact.

5. Technique de désensablement :

Ne se basant sur aucune technicité particulière, cette technique consiste simplement en une évacuation du sable soit manuellement (cas des vergers agricoles) soit par engins lourds.

XII.5. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET

XII.5.1. Impacts positifs directes

Le transfert des déplacements (personnes et marchandises) de la route vers le rail ce qui entrainera :

- L'Amélioration des flux du trafic routier des communes traversées par les corridors.
- Amélioration de la sécurité routière et diminution des accidents de la route.
- Diminution de la pollution de l'air (engendrée notamment par les véhicules, camions et engins …).
- Diminution des nuisances sonores liées à la circulation routière.
- Gain de temps pour les voyageurs empruntant la ligne.
- Création de postes d'emploi pour les populations locales.
- Ce projet s'inscrit pleinement dans le cadre du développement durable de la région.

XII.5.2. Les impacts positifs indirects

- Le développement des activités socio-économiques des communes traversées par les corridors et l'amélioration de la qualité de vie des zones désertiques.
- L'amélioration de la qualité de transports de voyageurs et marchandises entre Laghouat et Ghardaïa et les localités traversées par la ligne ferroviaire.
- Le développement d'autres secteurs : l'industrie, le tourisme, l'habitat, commerce.

XII.5.3. Impacts négatifs

- L'étude se trouve sur une réserve importante de gisement pétrolifère et aquifère dont les travaux peuvent provoqués un risque de pollution pour les réserves aquifères et une contrainte d'exploitation de la réserve pétrolifère.
- La rupture de l'équilibre entre sable et gravats restant après réalisation du projet charriés vers les lits d'oueds, les rends moins perméable avec l'augmentation de la teneur en argile, ce qui altère la recharge des nappes phréatiques et leurs approvisionnements.
- La présence de base de vie et de chantiers doit avoir son propre système d'irrigation d'eau usée pour ne pas provoquer la pollution des zones naturelles, cours d'eau et eau d'irrigation.
- Risque de perte de la végétation endémique de la région par terrassement, défrichement et emplacement des bases de vie.
- Les impacts sur le milieu biotique rencontrés lors de la construction d'une ligne ferroviaire sur la biodiversité sont généralement : La mortalité d'animaux par collision, modifications des environnements physique et chimique, création de nouveaux milieux en bord du corridor, dispersion d'espèces invasives.

XII.6. MESURES PROPOSEES POUR LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.6.1. Sur le milieu physique

Thème	Impact potentiel	Mesure proposé
Sol	Déblais, pollution, vibration	- Protections mises en place dès la conception de l'infrastructure ferroviaire. - Réalisation d'une analyse complémentaire afin de préciser les filières de remploi ou d'élimination des matériaux.
Eaux superficielles	Eaux pluviales des plates-formes ferroviaires créées	- Création des ouvrages de collecte et de rétention des eaux pluviales (tel que les dalots) avant leur rejet dans des collecteurs communaux ou dans le milieu naturel.
Qualité de l'air	- Gaz d'échappement des engins et des camions, émission de poussières, dispersion accidentelle de produits chimiques). - Limitation des circulations routières	- Respect des normes d'émissions des engins. - Stockage approprié des produits pulvérulents et potentiellement polluant. - Limitation des aires de chantier

XII.6.2. Sur le milieu biologique et humain

Thème	Impact potentiel	Mesure proposé
Activités agricoles	-Perturbation en période de travaux. -Perte de surface agricole pour les exploitants du fait des nouvelles emprises ferroviaires. -Déstructuration et coupure du parcellaire, occasionnées par le passage de la nouvelle infrastructure ferroviaire.	-Réalisation d'une enquête parcellaire afin de déterminer les indemnisations financières dues aux propriétaires et exploitants concernés. -Déstructuration du parcellaire limitée du fait du choix d'implantation de la nouvelle voie -Rétablissement des cheminements agricoles
Population	-Nuisances des chantiers (bruit, circulation, poussière)	-La circulation des engins doit être limitée à l'intérieur des emprises du projet et des pistes d'accès, dans des horaires bien définis.
Infrastructures de transport	-Circulation des poids lourds en période de chantier. Perturbation de la circulation routière en période de chantier. -Construction des nouveaux ouvrages d'art.	-Plan de circulation spécifique au chantier. -Minimisation des impacts sur les circulations routières : préfabrication des ponts, mise en œuvre groupée des travaux nécessitant une coupure des circulations routières sur des périodes de plus faible trafic.

XII.7. CONCLUSION

Au vu de l'ensemble des mesures qui seront mises en œuvre pour limiter les impacts potentiels sur la santé humaine (protection acoustique protection de la ressource en eau prévention vis-à-vis de la prolifération de l'Ambroise…) il apparaît que le projet présente un risque extrêmement faible pour la population qui vie à côté de la future ligne ferroviaire.
En outre le projet contribuera à diminuer les émissions de polluants de transport routier puisqu'il générait une baisse de trafic routier par rapport de la route vers le rail.

DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF

	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT (DA)	MONTANT HT (DA)
1- INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1.1	Amenée du matériel et Installation général du chantier	F	1.00	60 996 000,00	60 996 000,00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	11 000 000,00	11 000 000,00
1.3	Étude d'exécution	F	1.00	47 234 884,00	47 234 884,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)				119 230 884,00	
2- TERRASSEMENTS					
2.1	Déblai mis en remblai	m^3	72623.97	547,00	39 725 311,59
2.2	Déblai mise en dépôt	m^3	111163.79	560,00	62 251 722,4
2.3	Décapage de terre végétale	m^2	76 050	440,00	33 462 000,00
2.4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de Forme	m^3	48513	1 700,00	82 472 100,00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	m^3	19364	2 000,00	38 728 000,00
2.6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	m^3	23211	3 500,00	81 238 500,00
Coût total des terrassements (DA) :				337 877 634,00	
3- OUVRAGES HYDRAULIQUE					
3.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ml	29 948	4 720,00	141 354 560,00
3.2	Buses en Béton Armé 1200ϕ	ml	15	9 385,74	140 786,1
3.3	Buses en Béton Armé 600 ϕ	ml	14.4	3 360,00	48 384,00
3.4	Buses en Béton Armé 1000 ϕ	ml	14.4	6 565,92	94 549,248
Coût total des ouvrages hydraulique (DA) :				141 543 730,1	
4- TRAVAUX DE VOIE					
4.1	Fourniture et pose de ballast sur épaisseur de 0,30 m	m^3	31236	6 000,00	187 416 000,00
4.2	Fourniture des rails UIC60	T	2520	115 000,00	289 800 000,00
4.3	Traverse Bi bloc	U	36167	7000,00	253 169 000,00
4.4	Attache Nabla	U	72334	500,00	36 167 000,00

4.5	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 500 1:12	U	2	13 870 000,00	27 740 000,00
4.6	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 300 1:9	U	2	12 350 000,00	24 700 000,00
4.7	Traverse de Garage Franc	U	4	9500,00	38 000,00
Coût totale des travaux de voie (DA) :				819 030 000,00	
5- Gare et Halte					
5.1	Bâtiments de Voyageurs + aménagement	m²	450	30 000,00	13 500 000,00
5.2	Quais	m^2	3 600	5 000,00	18 000 000,00
Coût totale de la gare + halte				31500000	
6- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
6.1	Electrification 2x25 kV/50 Hz	Km	19.5	641 019,487	12 499 879,00
6.2	Signalisation			5 345 544.00	
Coût total de la signalisation et d'électrification (DA) :				17 845 423,00	

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot 1	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	119 230 884
Lot 2	TERRASSEMENTS	337 877 634,00
Lot 3	OUVRAGES HYDRAULIQUE	141 543 730,10
Lot 4	TRAVAUX DE VOIE	819 030 000.00
Lot 5	Gare et Halte	31 500 000,00
Lot 6	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION	17 845 423,99
Montant du projet HT		1 321 793 248,10
Montant du projet en TTC		1 572 933 965,00

Montant total du projet en TTC :

Un milliard cinq cent soixante-douze millions neuf cent trente-trois mille neuf cent soixante-cinq DA.

CONCLUSION

CHAPITRE XIV : CONCLUSION

Notre projet de fin d'étude porte sur une étude d'APD de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée sur le tronçon du PK 54+000 au PK 73+500 avec la conception de la gare de BELLIL.

On a fait le maximum pour concrétiser notre bagage théorique acquis lors de notre formation à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, en faveur de bien concevoir les différentes parties de l'étude commençant par la géométrie, la géologie, la géotechnique, l'assainissement et la conception de gare avec d'autre chapitre économique et environnemental.

Cette étude nous a permis de voir l'utilité des projets ferroviaires et que l'existence des réseaux performants d'infrastructures de transport a pour effet d'amplifier les échanges dans l'espace intégré.

Cette étude a été une occasion pour nous de profiter de l'expérience pratique des ingénieurs du terrain d'une part et d'autre part apprendre une méthodologie rationnelle, et le plus occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence le logiciel : Civil3D.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Cours Mr. Morsli – ENSTP.

[2] Cours Mr. Rahmani – ENSTP.

[3] SETIRAIL, « Etude préliminaire de la boucle sud est ».

[4] ANESRIF, Etude des lignes ferroviaires Boucle Sud-Est Etude d'identification.

[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] Wikipédia.

[7] SETIRAIL, «SETIRAIL, « Rapport de synthèse géotechnique ».

[8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[9] SNTP, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.

[10]SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 9 Constituants de la voie, 22/12/2005.

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

[12] UIC703 R, Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides, 2eme Edition, 01/01/1989.

[13] ANESRIF, Etude des lignes ferroviaires Boucle Sud-Est Etude d'identification.

[14] SETIRAIL, « SETIRAIL, Rapport de synthèse géotechnique ».

[15] Jean ALIAS *la voie ferrée.* Boulevard Saint-Germain- 75005- Paris, deuxième édition mise a jour.

ANNEXES

TRACE EN PLAN

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	505424.1656	3693260.7446
DR1	ANG=166.3908 (g)	3306.963			
			3306.96	507090.0434	3690404.0239
CLO2	A=738.918				
	R=2600.000	210.000			
			3516.96	507198.2551	3690224.0688
ARC3	XC=509389.5554				
	YC=3691623.4269				
	R=2600.000	907.703			
			4424.67	507809.1243	3689558.9082
CLO4	A=738.918				
	R=2600.000	210.000			
			4634.67	507979.2374	3689435.8021
DR5	ANG=139.0232 (g)	2827.409			
			7462.07	510291.8871	3687809.1826
CLO6	A=774.597				
	R=3000.000	200.000			
			7662.07	510454.1785	3687692.3170
ARC7	XC=508647.4465				
	YC=3685297.3809				
	R=3000.000	1153.654			
			8815.73	511220.6739	3686839.6197
CLO8	A=774.597				
	R=3000.000	200.000			
			9015.73	511319.6476	3686665.8376
DR9	ANG=167.7488 (g)	4759.943			
			13775.67	513629.2098	3682503.7490
CLO10	A=725.603				
	R=2700.000	195.000			
			13970.67	513725.8652	3682334.4022
ARC11	XC=516037.9053				
	YC=3683728.8449				
	R=2700.000	769.013			
			14739.69	514210.8317	3681740.9310

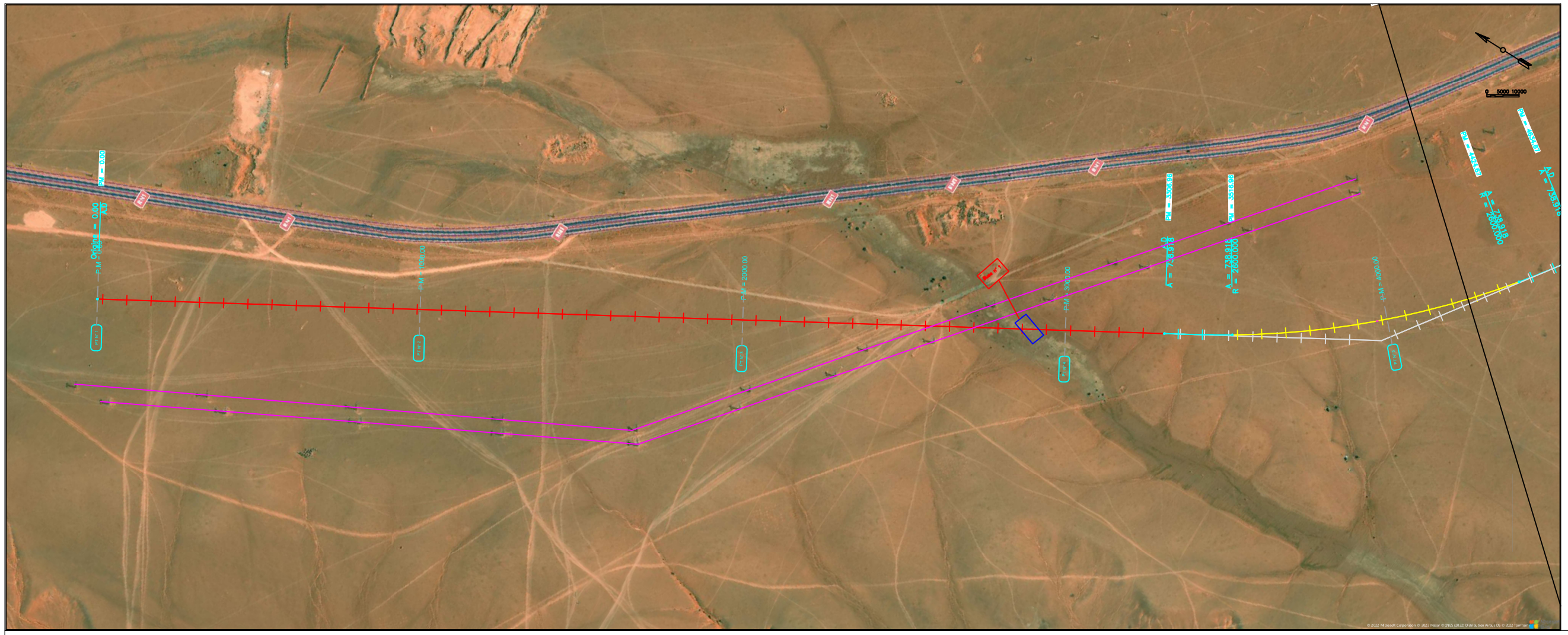
CLO12	A=725.603				
	R=2700.000	195.000			
			14934.69	514357.5296	3681612.4774
DR13	ANG=145.0187 (g)	4603.528			
			19538.21	517857.2021	3678621.6976

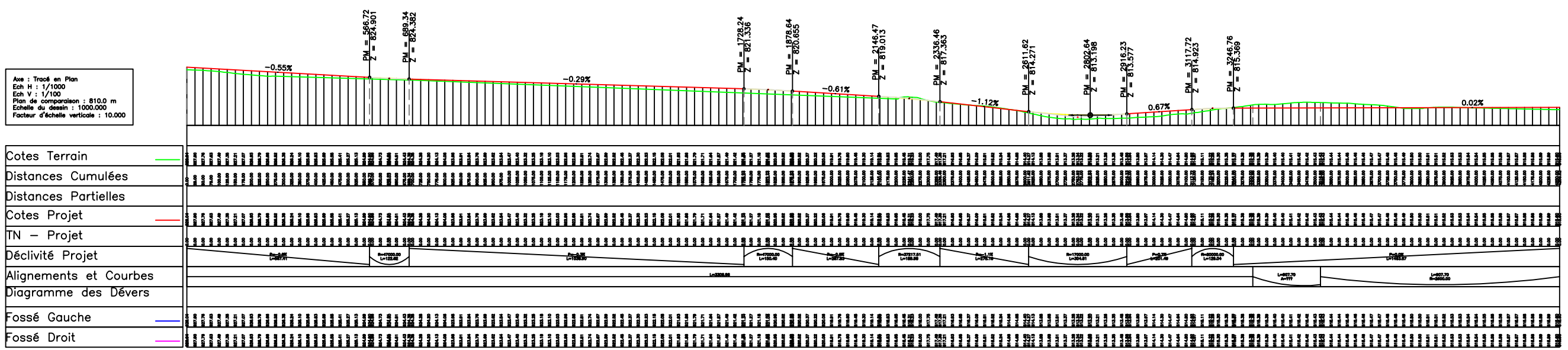
PROFIL EN LONG

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0566.72	824.901
ARC0	S= 0628.03 Z=824.562			
	R= -47000.000	122.622		
			0689.34	824.382
D1	PENTE= -0.29%	1038.897		
			1728.24	821.336
ARC1	S= 1803.44 Z=821.116			
	R= -47000.000	150.404		
			1878.64	820.655
D2	PENTE= -0.61%	267.833		
			2146.47	819.013
ARC2	S= 2241.47 Z=818.430			
	R= -37217.508	189.984		
			2336.46	817.363
D3	PENTE= -1.12%	275.162		
			2611.62	814.271
ARC3	S= 2763.92 Z=812.559			
	R= -17000.000	304.607		
			2916.23	813.577
D4	PENTE= 0.67%	201.492		
			3117.72	814.923
ARC4	S= 3182.24 Z=815.354			
	R= -20000.000	129.042		
			3246.76	815.369
D5	PENTE= 0.02%	1483.573		
			4730.33	815.710
ARC5	S= 4802.94 Z=815.727			
	R= -32500.000	145.206		
			4875.54	815.419
D6	PENTE= -0.42%	1176.658		
			6052.20	810.432
ARC6	S= 6116.21 Z=810.161			
	R= -45000.000	128.031		
			6180.23	810.072
D7	PENTE= -0.14%	970.093		
			7150.32	808.720

ARC7	S= 7222.98 Z=808.619			
	R= -48500.000	145.316		
			7295.64	808.300
D8	PENTE= -0.44%	1699.598		
			8995.24	800.840
ARC8	S= 9142.63 Z=800.193			
	R= -51000.000	294.796		
			9290.03	800.398
D9	PENTE= 0.14%	738.579		
			10028.61	801.425
ARC9	S= 10141.64 Z=801.582			
	R= -25000.000	226.048		
			10254.66	800.718
D10	PENTE= -0.77%	755.944		
			11010.60	794.934
ARC10	S= 11096.36 Z=794.278			
	R= -39000.000	171.519		
			11182.12	793.999
D11	PENTE= -0.33%	434.620		
			11616.74	792.585
ARC11	S= 11697.00 Z=792.324			
	R= -73232.026	160.504		
			11777.25	791.887
D12	PENTE= -0.54%	792.753		
			12570.00	787.571
ARC12	S= 12641.88 Z=787.179			
	R= -25089.958	143.761		
			12713.76	787.200
D13	PENTE= 0.03%	411.656		
			13125.42	787.317
ARC13	S= 13213.23 Z=787.342			
	R= -22000.000	175.627		
			13301.04	786.666
D14	PENTE= -0.77%	235.884		
			13536.93	784.850
ARC14	S= 13608.56 Z=784.299			
	R= -18000.000	143.274		
			13680.20	784.317

D15	PENTE= 0.03%	1300.136		
			14980.34	784.658
ARC15	S= 15055.99 Z=784.678			
	R= -20000.000	151.304		
			15131.64	784.125
D16	PENTE= -0.73%	378.292		
			15509.93	781.362
ARC16	S= 15572.43 Z=780.906			
	R= -20000.000	124.993		
			15634.93	780.840
D17	PENTE= -0.11%	279.735		
			15914.66	780.545
ARC17	S= 15969.19 Z=780.488			
	R= -38000.000	109.053		
			16023.71	780.587
D18	PENTE= 0.18%	243.071		
			16266.79	781.028
ARC18	S= 16347.06 Z=781.174			
	R= -17000.000	160.542		
			16427.33	780.561
D19	PENTE= -0.76%	214.411		
			16641.74	778.926
ARC19	S= 16692.69 Z=778.537			
	R= -23000.000	101.902		
			16743.64	778.374
D20	PENTE= -0.32%	798.469		
			17542.11	775.822
ARC20	S= 17602.11 Z=775.630			
	R= -23847.034	120.000		
			17662.11	775.136
D21	PENTE= -0.82%	335.175		
			17997.28	772.378
ARC21	S= 18079.29 Z=771.703			
	R= -20000.001	164.017		
			18161.30	771.700
D22	PENTE= -0.00%	1378.305		
			19539.61	771.661





PROJET D'ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE ENTRE LAGHOUAT ET GHARDAIA
DU PK 54+000 AU PK 73+500

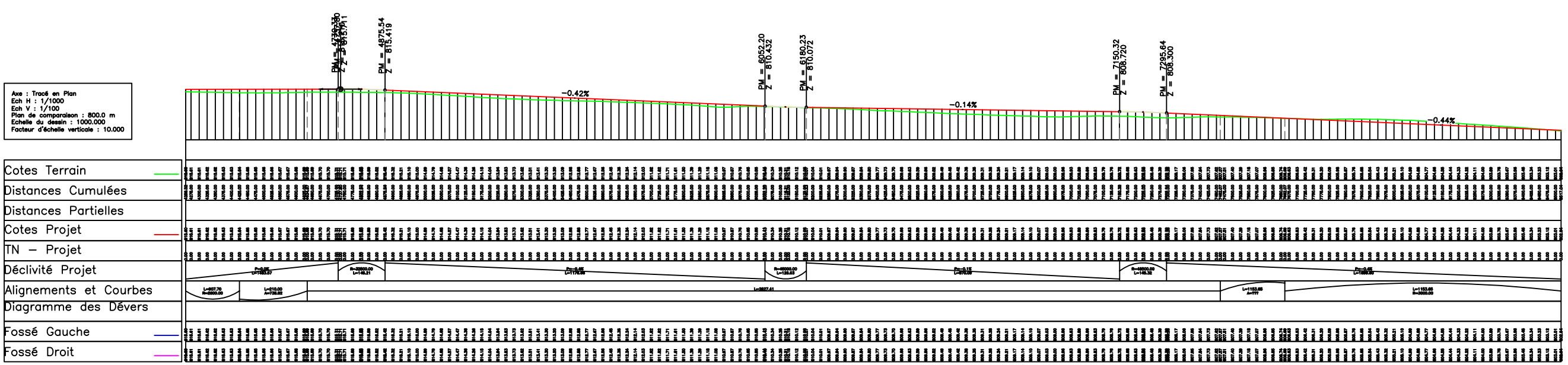
PROJET PAR:

SAADOU
SELMI

LEGENDE

BUSE	Terrain naturel
LIGNE HT	Quai
Axe voie droit	Clothoide
Oued	Point Kilométrique
Rayon	Bâtiment voyageur



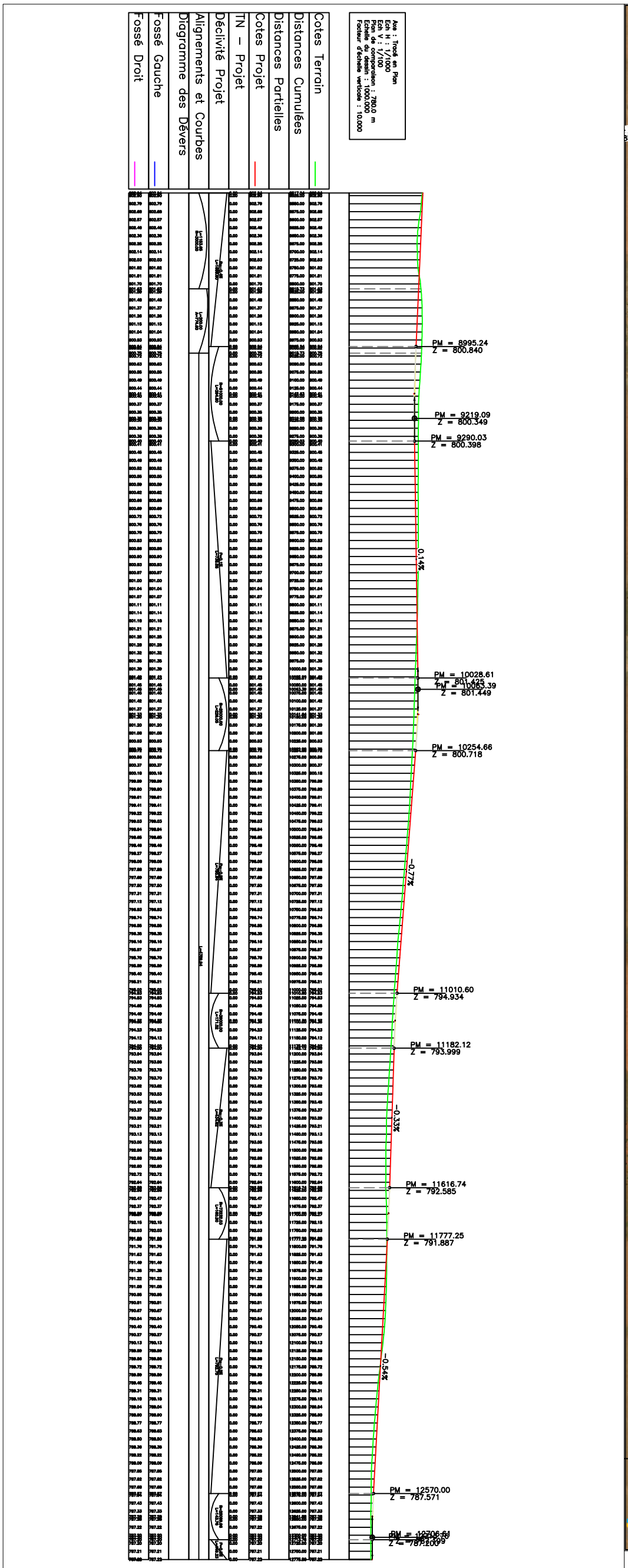


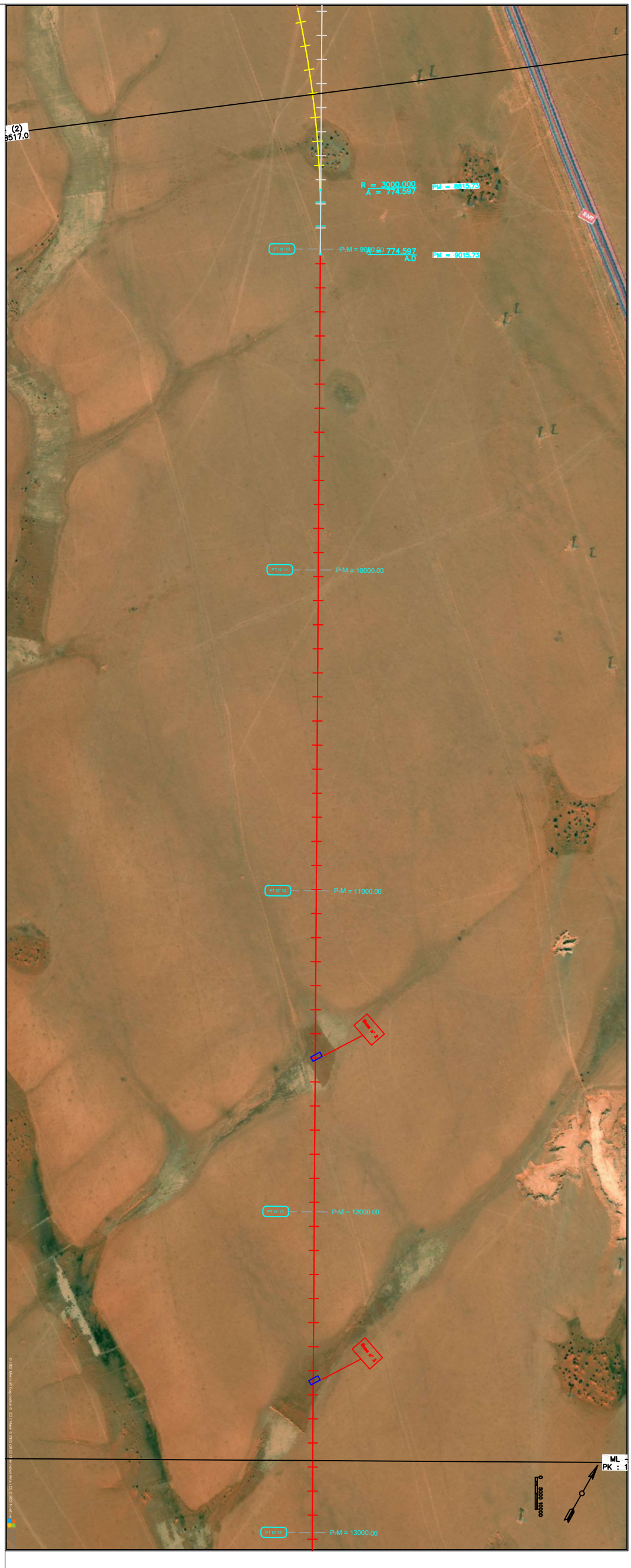
PROJET D'ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE ENTRE LAGHOUAT ET GHARDAIA DU PK 54+000 AU PK 73+500

PROJET PAR:
SAADOU
SELMI

LEGENDE

BUSE	Terrain naturel
LIGNE HT	Quai
Axe voie droit	Clothoide
Oued	Point Kilométrique
Rayon	Bâtiment voyageur





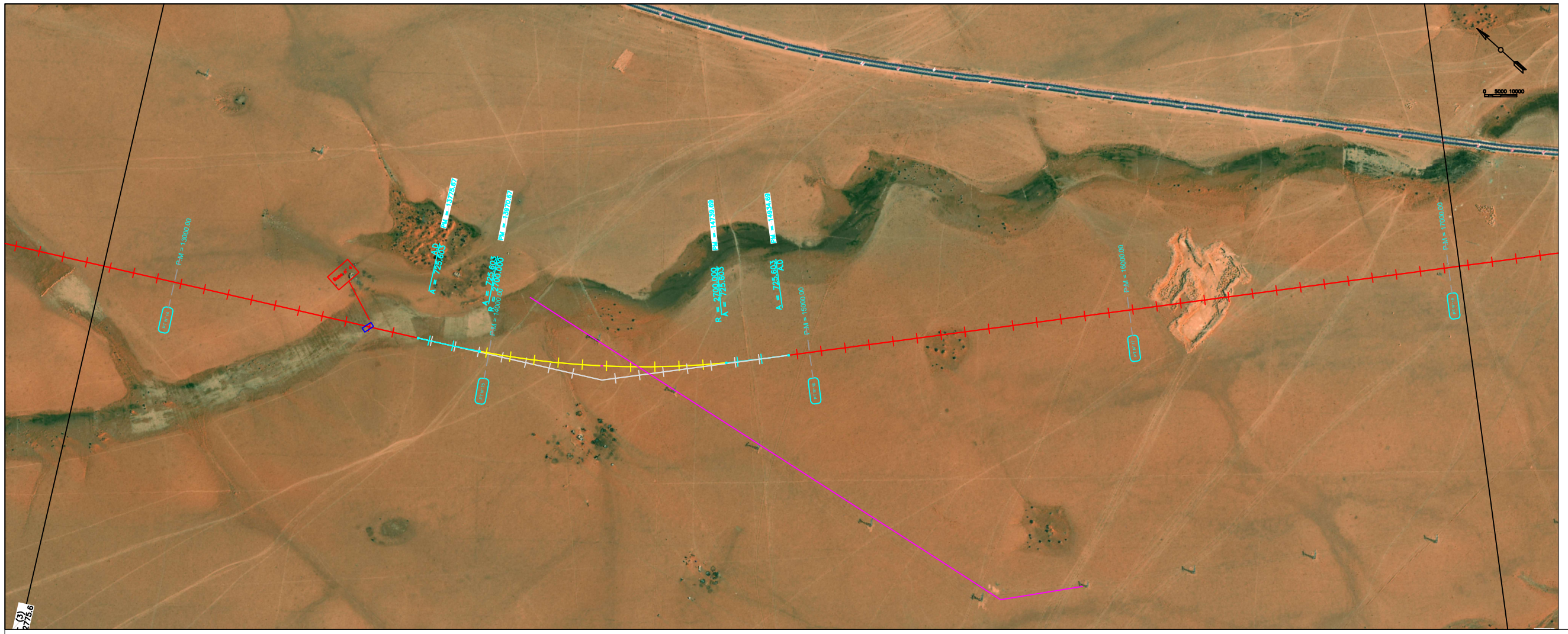
LEGENDE

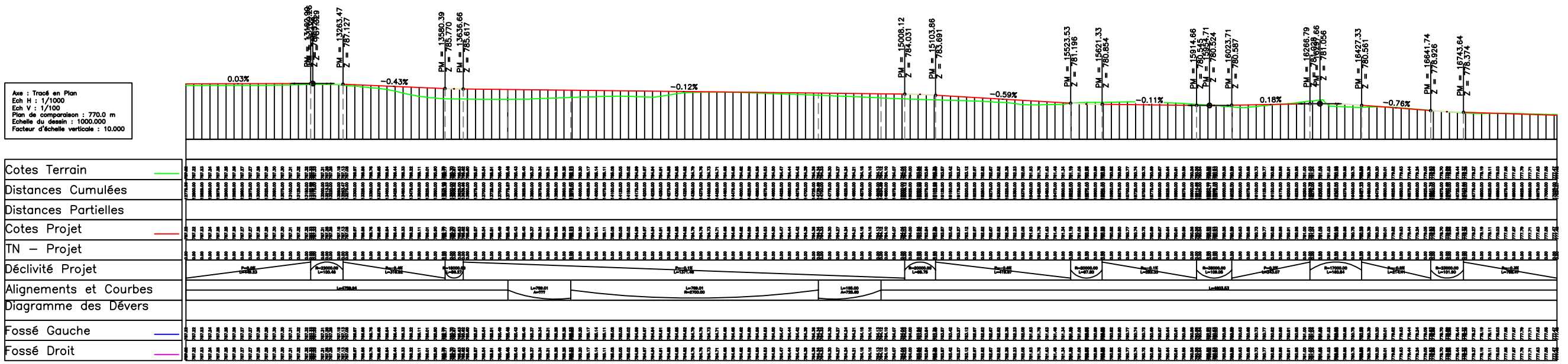
BUSE
LIGNE HT
Axe voie droit
Cloôture
Rayon
Oued
Point Kilométrique
Bâtiment voyageur
Quai
Terrain naturel

PROJET PAR

SAADOU
SELMI

PROJET D'ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE ENTRE LAGHOUAT ET GHARDAIA
DU PK 54+000 AU PK 73+500





PROJET D'ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE ENTRE LAGHOUAT ET GHARDAIA
DU PK 54+000 AU PK 73+500

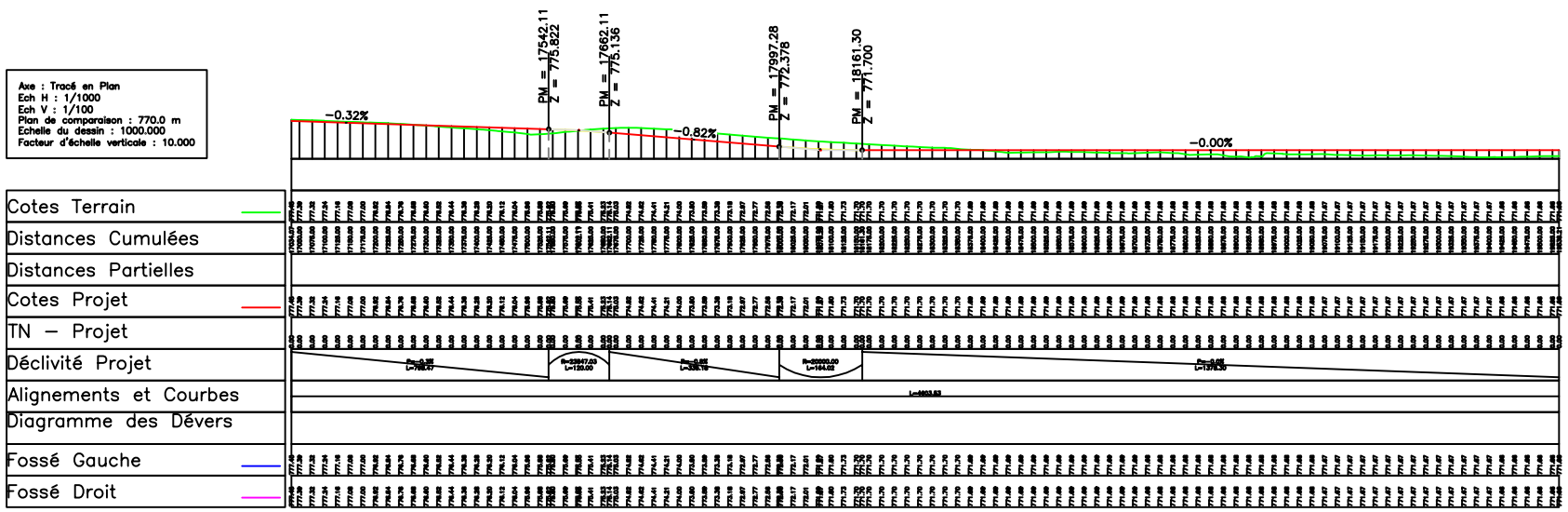
PROJET PAR:

SAADOU
SELMI

LEGENDE

- BUSE
- LIGNE HT
- Axe voie droit
- Oued
- Rayon
- Terrain naturel
- Quai
- Clothoide
- Point Kilométrique
- Bâtiment voyageur





PROJET D'ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE ENTRE LAGHOUAT ET GHARDAIA
DU PK 54+000 AU PK 73+500

PROJET PAR:

SAADOU
SELMI

LEGENDE

BUSE	Terrain naturel
LIGNE HT	Quai
Axe voie droit	Clothoide
Oued	Point Kilométrique
Rayon	Bâtiment voyageur