République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention des diplômes d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude d'APD de la ligne ferroviaire à voie unique TISSEMSILT – BOUGHEZOUL Du PK 00 au PK 20, Avec la conception de la gare COLONEL BOUGARA

Présenté par :

- BENMALEK Mohamed Mamoun
- LAIMECHE Rabah

Encadré par :

- SERIDJI Widad
- CHIALI Soumiya

Promotion 2020/2021

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIEMENT

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la volonté de Dieu qui nous a offert santé, force, courage, et volonté jusqu'au dernier moment. Nous remercions Dieu pour ça et pour tout le reste.

On tient à témoigner nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidées et encourager particulièrement à :

Madame Chiali, enseignante à ENSTP-Kouba et notre encadreur mlle Seridji qui nous a guidés pour obtenir ce travail. Nous lui sommes très reconnaissants de nous avoir aidé, pour aboutir à ce travail.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Le groupe de SETI-RAIL et le groupement GRTB pour leur contribution pour acquisition les données de projet.

Nous remercions aussi tous nos amis formidables que nous avons eu la chance de rencontrer et nous leur souhaitons tous le bonheur du monde.

A tous ceux qui ont contribués de près et de loin à l'élaboration de ce mémoire

Rabah et Mohamed

DEDICACE

Je remercie ALLAH le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

Je dédie ce travail :

Je dédie ce travail à **Ma Très Chère Mère**, qui m'a accompagné durant les moments les plus durs et pénibles de ce long parcours de mon éducation. Je prie le dieu le miséricordieux qu'il te protège et te garde en bonne santé.

À **mon père** qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

À **Mes chers frères** HICHEM, CHERIF, MOHCINE, YOUCEF, ABDELKADER, ZAKARIA, et à mon très cher jumeau SOHAIBE
À mon binôme : RABAH

À mes amis : ABDEREZAK, MOHAMED ET ADEL

Enfin, un grand merci à tous mes amis de l'ENSTP pour les bons moments passés. Et tous ceux qui m'ont apporté l'aide et soutien durant ces années de formation.

Benmalek Mohamed

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Puisse dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longueur vie et bonheur.

A mon cher père

Qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir, Je prie le dieu de te bénir, de veiller sur toi, en espérant que tu sois toujours fier de moi

A tous mes chers frères et sœurs

A tous mes amis et mes collègues : Spécialement mon binôme

Enfin, un grand merci à tous mes amis de l'ENSTP pour les bons moments passés. Et tous ceux qui m'ont apporté l'aide et soutien durant ces année de formation.

et pour mes amies de l'ENSTP je tiens z vous remercier pour tous les bons moments passés et tout genre de l'aide et soutiens durant ces merveilles années passés dans l'école

Laimeche Rabah

ملخص

هذا المشروع يتمثل أساسا في دراسة التصميم التفصيلي من مقطع من خط السكة الحديدية الجديد احادي الممر بين ولاية تيسمسلت و بلدية بوغزول وهذا بين النقطة الكيلومترية 0+000 والنقطة الكيلومترية 20+000 بطول 20 كم بالإضافة الى تصميم محطة بوقرة.

صمم هذا المشروع بناءا على معايير وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية والاتحاد الدولي للسكك الحديدية وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج CIVIL3D

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Tissemsilt - Boughezoul, Du pk 0+000 au Pk 20+000, pour un linéaire de 20 Km, notre projet s'étale aussi à la conception de la gare de Colonel Bougara.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les normes ainsi que les recommandations ainsi qui sont suivies par la société nationale des transports des chemins de fer (SNTF) et l'union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel CIVIL3D.

Abstract

The present project consists essentially of the detailed design study of the new section railway line connecting Tissemsilt - Boughezoul, section from pk 0+000 to the pk 20 + 000, for a linear of 20 km, our project also extends to the design of Colonel Bougara station.

The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the standards and the recommendations that are followed by the National Railway Transports System (SNTF) and the International Union of Railways (UIC). The geometric modelling of the project was executed using CIVIL 3D software

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE……..... 1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA STABILITE DES LRS
I.1. INTRODUCTION.....2
I.2. LES LONGS RAILS SOUDES LRS.....2
I.2.1. Avantages des LRS.....2
I.2.2. Inconvénients des LRS.....2
I.2.3. STABILITE DES LRS.....3
I.2.3.1. Stabilité dans le plan vertical.....3
I.2.3.2. Stabilité dans le Plan horizontal.....3
I.2.4. COMPORTEMENT DE LA VOIE EN LONG RAILS SOUDES (LRS) SOUS LA VARIATION DE LA TEMPERATURE.....7
I.2.4.1. NOTION DE TEMPERATURE.....7
I.2.4.2. Calcul du déplacement de l'extrémité de la barre.....10
I.2.4.3. Conséquences pratique.....11
I.2.5. CONCLUSION.....12
I.2.6. SOLUTION POUR LIMITER LES RISQUES D'INSTABILITE DAND LES L.R.S.....12
I.3. CONCLUSION GENERALE.....13

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES CHEMINS DE FER
II.1. INTRODUCTION.....14
II.2. HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE 14
II.3. AVANTAGE DE CHEMIN DE FER 16
II.4. RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN 16
II.5. RESEAU FERROVIAIRE ACTUEL EN ALGERIE 17

CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROJET
III .1. DEFENITION DU PROJET 18
III .2. LES CAUSES DU PROJET 18
III .3. OBJECTIFS DU PROJET 18
III .4. LA WILAYA DE TISSEMSILT 19
III .5. CARACTÉRISTIQUES DES TRONÇONS PROJETÉS 20
III .5. 1.Conditions de Base 20
III .5. 2.Caractéristiques Techniques.....20
III .5.3. Caractéristiques de Base 20
III .6. CARACTERISTIQUE DE LA VOIE.....20

CHAPITRE IV : AVANT-PROJET-SOMMAIRE ET CHOIX DE VARIANTE

IV.1. INTRODUCTION 22
IV.2. DESCRIPTION DES DEUX VARIANTES I ET II.....22
IV.2.1. DESCRIPTION DE LA VARIANTE I.....22
IV.2.2. DESCRIPTION DE LA VARIANTE II.....26
IV.3. PRINCIPE DE LA PONDERATION 29
IV.4. PRINCIPE DE LA NOTATION PAR CRITERE.....30
IV.5. METHODE D'EVALUTATION.....30
IV.6. CONCLUSION 33

CHAPITRE V : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

V.1. INTRODUCTION.....34
V.2. LES COMPOSANTES DE LA VOIE.....34
V.2.1. Les rails.....34
V.2.1.1. Le profil du rail.....34
V.2.1.2. Le rôle du rail.....34
V.2.1.3. Les types de rail.....34
V.2.1.4. Les caractéristiques du rail Vignole UIC 60 E1.....36
V.2.1.5. Assemblage des rails.....37
V.2.2. Les traverses.....40
V.2.3. Les attaches.....42
V.2.4. Les semelles.....44
V.3. L'écartement des rails.....44

CHAPITRE VI : TRACE EN PLAN

VI .1. INTRODUCTION 45
VI .2. LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN.....45
VI .2.1. L'alignement droit.....45
VI .2. 2. Les Arcs de cercle.....45
VI .2. 3. La courbe de raccordement.....46
VI .3. CONDITIONS ET REGLES A RESPECE POUR LE TRACE (SNTF).....46
VI .4. PARAMETRES DE CONCEPTION.....46
VI .5. PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ.....47
VI .5.1. Dévers.....47
VI .5.1.1. Dévers théorique.....47
VI .5.1.2. Dévers pratique (normal).....47
VI .5.1.3. Insuffisance de devers (I).....48
VI .5.1.4. Variation de l'insuffisance de devers dans les courbes de raccordement.....48
VI .5.1.5. Excès de dévers (E).....49
VI .5.1.6. Variation de dévers.....49
VI .5.1.7. Longueur de raccordement de devers.....50
VI .5.2. Le Rayon minimal.....51

VI .6. APPLICATION AU PROJET.....51

CHAPITRE VII : CALCUL DE L'AXE EN PLAN
VII.1. INTRODUCTION 56
VII.2. APPLICATION AU PROJET 56
VII.3. CONCLUSION 60

CHAPITRE VIII : PROFIL EN LONG
VIII.1. DEFINITION 61
VIII.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DE PROFIL EN LONG 61
VIII.3. DECLIVITE MAXIMALE.....62
VIII.4. LA LONGUEUR MINIMALE DES DECLIVITES..... 62
VIII.5. RAYON ADMISSIBLE EN PROFIL EN LONG.....63
VIII.6. REGLE A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL.....64
VIII.7. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN.....64
VIII.8. PARAMETRES CINETIQUE DU PROFIL EN LONG.....65

CHAPITRE IX : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
IX.1. L'ETUDE GEOLOGIQUE 67
IX.1.1. INTRODUCTION.....67
IX.1.2. LA GEOLOGIE DE L'ALGERIE.....67
IX.1.3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION 67
IX.1.4. GEOLOGIE LOCALE.....68
IX.2. ETUDE GEOTECHNIQUE.....69
IX.2.1. INTRODUCTION.....69
IX.2.2. PROGRAMME D'INVESTIGATION GEOTECHNIQUE.....69
IX.2.3. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE.....75
IX.2.3.1. ESSAIS IN SITU.....75
IX.2.3.2. ESSAIS AU LABORATOIRE.....83
IX.2.3.3. SYNTHESE DES RESULTATS DE LABORATOIRE.....85
IX.2.3.3.1. Les sondages carottés.....85
IX.2.3.3.2. Les Puits de reconnaissance.....88
IX.2.4. CLASSIFICATION DU SOL SELON LES FICHES UIC 719R ET GTR 88
IX.2.5. CONCLUSION.....89

CHAPITRE X : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT
X.1. ETUDE HYDROLOGIQUE 90
X.1.1. INTRODUCTION..... 90
X.1.2. CONTEXTE HYDRAULOGIQUE GENERALE.....90
X.1.3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS 92
X.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE.....94

X.1.5. APPLICATION AU PROJET.....96
X.2. ETUDE D'ASSAINISSEMENT.....101
X.2.1. ASSAINISSMENT TRANSVERSAL.....101
X.2.2. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL.....104
X.3. CONCLUSION.....106

CHAPITRE XI : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE ET PROFIL EN TRAVERS
XI.1. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE.....107
XI.1.1. INTRODUCTION.....107
XI.1.2. COMPOSITION DE LA STRUCTURE D'ASSISE.....107
XI.1.2.1. Le ballaste.....107
XI.1.2.1.1. Les engins.....107
XI.1.2.1.2. Caractéristique du ballast.....108
XI.1.2.2. La sous-couche.....109
XI.1.2.2.1. Les rôles de la sous-couche.....109
XI.1.2.2.2. Constituant de la sous-couche.....110
XI.1.2.3. La plate-forme.....110
XI.1.2.3.1. Les différentes qualités du sol selon UIC.....111
XI.1.2.3.2. Classe de portance de la plateforme 111
XI.1.2.3.3. Epaisseur des couches d'assise.....112
XI.1.3. APPLICATION AU PROJET.....113
XI.1.4. SYNTHES.....114
XI.2. PROFIL EN TRAVERS 114
XI.2.1. Les différents types de profil en travers.....114
XI.2.1.1. Profil en travers type.....114
XI.2.1.2. Profil en travers courant.....114
XI.2.2. Les éléments du profil en travers.....114
XI.2.3. Les profils en travers affectés au projet.....115
XI.3. CONCLUSION.....115

CHAPITRE XII : LES OUVRAGES D'ART ET LES OUVRAGES EN TERRE
XII.1. LES OUVGARES D'ART.....116
XII.1.1. INTRODUCTION 116
XII.1.2. L'INFLUENCE SUR LE CHOIX DE L'OUVRAGE 116
XII.1.3. LES CROISEMENT AVEC LA ROUTE 116
XII.1.4. APPLICATION AU PROJET 118
XII.2. LES OUVRAGES EN TERRE.....118
XII.2.1. INTRODUCTION.....118
XII.2.2. LES TALUS.....118
XII.2.3. METHODE DE PROTECTION LES TALUS.....119
XII.2.3.1. Terrassements.....119
XII.2.3.2. Les ouvrages de soutènement.....119
XII.2.3.3. Drainage.....122

XII.2.3.3.1. Masque poids drainant.....122
XII.2.4. APPLICATION AU PRPJET..... 123

CHAPITRE XIII : AMENAGEMENT DE LA GARE de Colonel Bougara
XIII.1. INTRODUCTION 128
XIII.2. TYPES DES GARES 128
XIII.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE 128
XIII.3.1. Garage franc.....128
XIII.3.2. La longueur utile d'une voie de stationnement.....129
XIII.3.3. Heurtoir.....129
XIII.3.4. La marge de glissement à l'aval des signaux 130
XIII.3.5. Quai.....130
XIII.4. APPAREILS DE LA VOIE.....131
XIII.4.1. Implantation des appareils de voie.....132
XIII.5. APPLICATION AU PROJET.....133
XIII.5.1. Aménagement de la gare de Colonel Bougara.....133
XIII.5.1.1. Localisation de la gare.....133
XIII.5.1.2. Caractéristique de la gare.....134
XIII.5.1.3. Schéma de la gare de Colonel Bougara.....135
XIII.5.2. Aménagement de la gare de croisement.....135
XIII.5.2.1. Localisation de la gare.....135
XIII.5.2.2. Appareils de voies.....135
XIII.5.2.3. Schéma de La gare de croisement.....135
XIII.6. ASSAINISSEMENT DE LA GARE.....136
XIII.6.1. Assainissement transversal.....136
XIII.6.2. Assainissement longitudinal.....136
XIII.7. CONCLUSION 136

CHAPITRE XIV : SIGNALISATION FERROVIAIRE
XIV.1. INTRODUCTION.....137
XIV.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION.....137
XIV.3. TYPES DE SIGNALISATION 137
XIV.4. FONCTIONS DES SIGNAUX.....137
XIV.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX.....138
XIV.6. VISIBILITE DES SIGNAUX.....138
XIV.6.1. Visibilité des signaux hauts.....138
XIV.6.2. Visibilité des signaux bas.....138
XIV.7. SIGNAUX 138
XIV.7.1. Type de signalisation.....139
XIV.7.1.1. La signalisation d'arrêt.....139
XIV.7.1.2. Signaux d'annonce d'arrêt.....142
XIV.7.1.3. Signalisation de limitation de vitesse.....143

XIV.7.1.4. Les signaux de divers.....145
XIV.8. LE SYSTEME DE LA SIGNALISATION 145
XIV.8.1. ETCS (European Train Control System) 145
XIV.8.2. ETCS niveau 1.....145
XIV.9. POSTES DE SECURITE.....146
XIV.9.1. Type de construction des Postes de Sécurité.....146
XIV.10. SYSTEME DE CANTONNEMENT.....146

CHAPITRE XV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT
XV.1. INTRODUCTION 147
XV.2. CONTEXTE JURIDIQUE.....147
XV.3. EFFET POSITIF DU PROJET.....147
XV.4. DESCRIPTION DU SITE ET SON ENVIRONNEMENT.....148
XV.4.1. Environnement physique.....148
XV.4.2. Environnement biologique.....148
XV.4.2.1. La faune.....148
XV.4.2.2. La flore.....148
XV.4.3. Environnement socioculturel.....149
XV.4.3.1. Population et habitat.....149
XV.4.3.2. Evaluation des impacts prévisibles et les mesures à prendre pour chaque phase de projet.....149
XV.5. CONCLUSION.....152

CHAPITRE XVI : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF.....153

CONCLUSION GENERALE.....156

Liste des figures

Figure I.1 : Déformée verticale d'une poutre infinie sur sol élastique.....3
Figure I.2: L'équilibre thermique d'un rail.....4
Figure I.3: Opposition des efforts (résistance du ballast et dilatation).....5
Figure I.4: Contraintes du aux ballaste.....5
Figure I.5: Répartition des contraintes dans le rail.....6
Figure I.6: Variation de force dans la barre.....6
Figure I.7: Figure l'évolution des contraintes dans un long rail.....6
Figure I.8: La première variation de température.....8
Figure I.9 : Représentation graphique de déplacement de l'extrémité d'une barre libre.....8
Figure I.10: Diagramme d'effort (deuxième variation de température).....9
Figure I.11: Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point B C et D.....9
Figure I.12: Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point 0 et D.....10
Figure I.13 : Déplacement de la barre pour la deuxième variation de température.....11
Figure II.1 :trains de SNTF.....14
Figure II.2 :Réseaux voies ferrées algérien avant 1942.....15
Figure II.3 :Réseau ferroviaire Algérien.....17
Figure III .1 : Localisation géographique de ligne de projet.....18
Figure III .2 :Délimitations géographiques de la wilaya de Tissemsilt.....19
Figure IV.1 : les deux variantes.....22
Figure V.1: Nomenclature d'un rail Vignole.....35
Figure V.2: Le rail Vignole.....35
Figure V.3: Rail à gorge.....35
Figure V.4: Rail à double champignon.....36
Figure V.5: Section du rail Vignole 60E1.....36
Figure V.6: Les longs rails soudés(LRS) 38
Figure V.7: La méthode de soudage électrique.....38
Figure V.8: la méthode de soudage aluminothermique.....39
Figure V.9: Eclissage des rails.....40
Figure V.10: Traverses en bois.....41
Figure V.11: Traverses métalliques.....41
Figure V.12: traverse bi-bloc en béton armé.....42
Figure V.13: traverse monobloc en béton précontrainte.....42
Figure V.14: L'attache Nabla.....43
Figure V.15: L'attache Pandrol E-clip.....43
Figure V.16: Le crapaud élastique RN.....43
Figure V.17: Les semelles.....44
Figure V.18: L'écartement des rails.....44
Figure VI .1: Eléments géométriques du tracé en plan.....45

LISTE DES FIGURES

Figure VI.2 : Définition du Dévers.....47
Figure VII.1: Elément de clothoïde.....56
Figure VIII.1 : Eléments géométriques du profil en long.....61
Figure VIII.2 : Déclivité maximale admissible.....62
Figure VIII.3 : les éléments d'un raccordement en profil en long.....65
Figure IX.1: Cadre des unités géologique-structurelles du d'Algérie.....68
Figure IX.2: Un exemple de sondage carotté.....76
Figure X.1: carte de situation de la région d'étude.....90
Figure X.2: délimitation du bassin versant 01 du Chéliff.....91
Figure X.3: Les dimensions d'un fossé trapézoïdale.....105
Figure XI.1: profil en travers de l'assise ferroviaire.....107
figure XI.2: Régaleuse de ballast.....107
Figure XI.3: Bourreuse mécanique.....108
Figure XII.1: Passage inférieur.....116
Figure XII.2: Passage supérieur.....117
Figure XII.3: Passage à niveau.....117
Figure XII.4: Les caissons végétalisables.....119
Figure XII.5: Mur en gabions.....120
Figure XII.6: La terre armée.....120
Figure XII.7: Ouvrage maçonné.....121
Figure XII.8: Enrochement.....121
Figure XII.9: Masque poids drainant.....122
Figure XII.10: Vue en plan du traitement en masque poids drainant.....123
Figure XII.11: TALUS du PK3+100 au PK3+550.....127
Figure XIII.1: Garage franc.....129
Figure XIII.2: Longueur utile de stationnement et garage franc.....129
Figure XIII.3: Heurtoir.....130
Figure XIII.4: la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie.....131
Figure XIII.5: Appareils de voie.....132
Figure XIII.6: Localisation de La gare de Colonel Bougara.....133
Figure XIII.7: Schéma de La gare de croissement.....135
Figure XIV.1: Le carré (C) en signalisation lumineuse.....139
Figure XIV.2: Le carré (C) en signalisation mécanique.....139
Figure XIV.3: Le carré violet (Cv) en signalisation lumineuse.....139
Figure XIV.4: Le carré violet (Cv) en signalisation mécanique.....140
Figure XIV.5: Guidon d'arrêt (GA) en signalisation lumineuse.....140
Figure XIV.6: Guidon d'arrêt (GA) en signalisation mécanique.....140
Figure XIV.7: Disque en signalisation lumineuse.....140
Figure XIV.8: Disque en signalisation mécanique.....141
Figure XIV.9: Le sémaphore(S) en signalisation lumineuse.....141
Figure XIV.10: Le sémaphore(S) en signalisation mécanique.....141
Figure XIV.11: Feu rouge clignotant.....142
Figure XIV.12: Avertissement en signalisation lumineuse.....142
Figure XIV.13: Avertissement en signalisation mécanique.....142

Figure XIV.14: Bande lumineuse jaune horizontale.....143
Figure XIV.15: Feu jaune clignotant.....143
Figure XIV.16: Feu vert clignotant.....143
Figure XIV.17: Le ralentissement 30 en signalisation lumineuse.....143
Figure XIV.18: Le ralentissement 30 en signalisation mécanique.....144
Figure XIV.19: Le rappel 30 en signalisation lumineuse.....114
Figure XIV.20: Le rappel 30 en signalisation mécanique.....114
Figure XIV.21: Ralentissement 60 et rappel 60.....144
Figure XIV.22: Le système européen de contrôle des trains niveau 1.....145

Liste des tableaux

Tableau III .1 :L'entraxe des voies.....20
Tableau III .2 : Vitesse maximale.....21
Tableau III .3 : Charges à l'essieu.....21
Tableau III .4 : Dévers et l'insuffisance et excès de dévers max.....21
Tableau III .5 : La déclivité.....21
Tableau IV.1 :les pk de contraintes et la solution proposé de variante I.....23
Tableau IV.2 : Listing de la géométrie de l'axe en plan de variante I 23
Tableau IV.3 : Listing de profil en long de variante I 25
Tableau IV.4 :les pk de contraintes et la solution proposé de variante II.....26
Tableau IV.5 : Listing de la géométrie de l'axe en plan de variante II 27
Tableau IV.6 : Listing de profil en long de variante II 28
Tableau IV.7 : principe de la pondération 30
Tableau IV.8 :principe de la notation par critère 30
Tableau IV.9: Estimations des mouvements des terres (déblai et remblai) 30
Tableau IV.10: Impact sur environnement 31
Tableau IV.11: nombre d'oued traversé dans chaque variante 31
Tableau IV.12: Impact sur les structures urbaines et population 31
Tableau IV.13:nombre d'ouvrages et leur notations 32
Tableau IV.14: la note totale pour chaque variante 32
Tableau VI .1: Valeurs limites du dévers 48
Tableau VI .2: Valeurs limites de l'insuffisance de dévers.....48
Tableau VI .3: valeurs de l'insuffisance de dévers 48
Tableau VI .4 : Les valeurs d'excès de dévers (E). (SNTF) 49
Tableau VI .5: Valeurs de variation de dévers en fonction de temps 49
Tableau VI .6: Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur 49
Tableau VI .7: Les longueurs minimales 50
Tableau VI .8: les valeurs de différents devers en fonction de la vitesse et catégorie.....50
Tableau VI .9 : les données de la *SETI-RAIL*.....*51*
Tableau VI .10: les différents paramètres pour chaque rayon.....55
Tableau VII.1: listing de tracé en plan pour l'arc 08 56
Tableau VII.2: Exemple de calcul pour l'arc 08.....57
Tableau VIII.1 : La longueur minimale pour v=120 km/h.....63
Tableau VIII.2 : La longueur minimale pour v=160 km/h.....63
Tableau VIII.3 : Le rayon admissible pour v=120 km/h.....63
Tableau VIII.4 : Le rayon admissible pour v=160 km/h.....64
Tableau VIII.5 : Paramètres cinétiques du profil en long.....65
Tableau VIII.6 : les cordonnées des points de profil en long l'exemplaire.....66
Tableau IX.1: l'essai et leur objectif 69
Tableau IX.2: les essais de chaque lot.....70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IX.3: Puits de reconnaissance.....71
Tableau IX.4: Localisation des investigations pour les remblais importants.....72
Tableau IX.5: Localisation des investigations pour les déblais importants.....72
Tableau IX.6: les PK et les types sondage et leurs profondeurs 73
Tableau IX.7: Localisation de gîtes et carrières pour notre projet 74
Tableau IX.8: Les puits de reconnaissance et description lithologique 75
Tableau IX.9: Les résultats de sondage carotté et la description lithologique.....76
Tableau IX.10: les sondages pressiométriques et leurs PK 79
Tableau IX.11: sondage pressiométrique SP2 (PK 02+841).....79
Tableau IX.12: sondage pressiométrique SP3 (PK 03+630).....80
Tableau IX.13: sondage pressiométrique SP4(PK 04+810)..... 80
Tableau IX.14: sondage pressiométrique SP5 (PK 05+250) 81
Tableau IX.15: sondage pressiométrique SP6 (PK 05+407).....81
Tableau IX.16: sondage pressiométrique SP9 (PK 09+777)..... 81
Tableau IX.17: sondage pressiométrique SP10(PK 10+889).....82
Tableau IX.18: sondage pressiométrique SP11 (PK 12+8785).....82
Tableau IX.19: sondage pressiométrique SP12 (PK 13+362).....82
Tableau IX.20: Liste des normes des Essais effectués 83
Tableau IX.21: Résultats de l'essai physique au laboratoire.....85
Tableau IX.22: Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage.....86
Tableau IX.23: Résultats des essais au laboratoire.....86
Tableau IX.24: Résultats des essais au laboratoire 87
Tableau IX.25: Résultats des essais au laboratoire.....87
Tableau IX.26: Interprétation des résultats de puis de reconnaissance.....88
Tableau X.1: Pluies maximales annuelles.....91
Tableau X.2: Précipitation journalière maximale.....92
Tableau X.3: Caractéristiques des paramètres de bassins versants.....93
Tableau X.4: Caractéristiques climatiques.....95
Tableau X.5: Coefficient de ruissellement C1.....95
Tableau X.6: Coefficient de ruissellement C2.....95
Tableau X.7: Coefficient de ruissellement C3 95
Tableau X.8: paramètres de bassin 01.....96
Tableau X.9: paramètres de bassin 03.....97
Tableau X.10: paramètres de bassin 09.....98
Tableau X.11: paramètres de bassin 23.....99
Tableau X.12: les calcule hydraulique des bassins versants.....100
Tableau X.13: Coefficients de MANNING-STRICKLER.....101
Tableau X.14: les dimensions des ouvrages d'assainissement transversal.....103
Tableau X.15: Estimation des débits pour déblai.....105
Tableau X.16: Estimation des débits pour remblai.....106
Tableau XI.1: le coefficient Deval selon le document de SNTF.....109
Tableau XI.2: la dureté relative globale pour notre ballaste.....109
Tableau XI.3: résistance à la compression RC après SNTF.....109
Tableau XI.4: le coefficient LOS ANGELES LA 109

LISTE DES TABLEAUX

Tableau XI.5: Les différentes qualités du sol selon (UIC 719R).....111
Tableau XI.6: les classes de portance de la plateforme (UIC719R).....111
Tableau XI.7: Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g.....112
Tableau XI.8: L'épaisseur des différentes couches.....114
Tableau XII.1: les ouvrages d'arts dans notre tronçon.....118
Tableau XIII.1 : Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1.....132
Tableau XIII.2 : Nom du voies et le type de chaque voie.....133
Tableau XIII.3: Installation des appareils de voies.....135
Tableau XIII.4: Installation des appareils de voies.....135
TableauXV.1: Caractéristique physique du site.....148
Tableau XV.2: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts Sur les habitants) 149
Tableau XV.3: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores).....149
Tableau XV.4: Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune) 150
Tableau XV.5: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts Sur la flore).....150
Tableau XV.6: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d'accidents) 151
Tableau XV.7: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet Impacts sur la qualité de l'air).....151
Tableau XV.7: Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines).....152

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le domaine des travaux publics est l'un des domaines les plus importants du pays, grâce auquel le pays se développe, de ce fait il constitue une base essentielle pour le développement de l'investissement national et étranger.

Pour affirmer cette position, le secteur travaux publics est contraint de consentir de très grands efforts par le lancement de nombreux projets dans le pays que se soit dans l'infrastructure routière ouvrage d'art ou bien l'infrastructure ferroviaire afin d'assuré le développement national.

Le monde a connu après la seconde guerre mondiale un grand renaissance économique, si pour cela il faut développer les moyens de transport pour faciliter le déplacement des personnes et les marchandises, il existe plusieurs types de transport, parmi eux le chemin de fer.

La surface de l'Algérie dépasse 2.3 millions km^2 donc pour satisfaire les besoins du pays et facilité le déplacement , il doit un réseau ferroviaire très grand. donc, il faut programmer des nouvelles projets ferroviaires touches tout les wilayas isolées.

- Parmi ses programmes nationaux de développer des chemins de fer. L'état prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « TISSEMSILT - BOUGHEZOUL» Dans un linéaire de 139 km.
- Donc notre sujet de fin d'étude est inscrit il s'agit une étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire a voie unique TISSEMSILT-BOUGHEZOUL du PK 00 au PK 20 avec la conception de la gare du colonel BOUGARA.

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA STABILITE DES LRS

I.1. INTRODUCTION

Dans nos jours et dans le développement de tous les secteurs des travaux publics, la voie ferrée est touchée énormément par ce développement cela engendre des trains électrifies avec des lignes de très grandes vitesses et en parallèle avec cette modernisation, les exigences de confort et de sécurité pour la voie ont également évolué pour assurer une bonne qualité de roulement.

Un défaut de rectitude des rails hors tolérance peut directement influencer la sécurité et le confort des usagers, c'est pourquoi il faut bien positionner les rails, respecter l'intervalle de température et aussi le serrage des traverses d'une façon correcte pour permettre aux rails de fonctionner librement sans déformations.

Ce présent chapitre est une synthèse sur la stabilité des longs rails soudés, dans laquelle on va s'intéresser plus spécifiquement aux stabilités des rails vis à vis la variation de température.

I.2. LES LONGS RAILS SOUDES LRS

Les longs rails soudés (L.R.S) 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.

I.2.1. Avantages des LRS

Les LRS présentent deux principaux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints éclissés :

- Une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.
- Une réduction des coûts d'entretien de la voie.

I.2.2. Inconvénients des LRS

- Une technicité complexe dans la mise en œuvre et dans leur l'entretien, nécessite un personnel qualifié et bien formé.
- Un risque de déformation par flambement de la voie, sous les contraintes de compression excessives de la Soudure aluminothermique entre deux barres de rails soudés lors de périodes de très fortes chaleurs (mais ce risque existe aussi en barres normales).
- Cette compression sous températures élevées entraîne également des risques de déformations lors de travaux effectués sur les rails, le ballast ou les attaches durant les saisons chaudes. Pour cette raison, sauf à prendre des précautions particulières comme par exemple une limitation de la vitesse, on n'entreprend pas de travaux en été sur des voies en LRS.
- Un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres.
- Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses

L'étude de stabilité des LRS est très importante à cause de l'énorme force de compression qui peut engendrer où niveau des barres a cause de des erreurs de pose ou de la température externe

I.2.3. STABILITE DES LRS

I.2.3.1. Stabilité dans le plan vertical

A titre d'exemple dans cette section on analyse la réponse d'un rail infini soumis à un chargement concentré d'amplitude Q. Les développements qui suivent sont inspirés de l'ouvrage réalisé par Infrabel et intitulé stabilité de la voie. Ce travail réalisé par Infrabel est repris dans les références à la fin de ce chapitre.

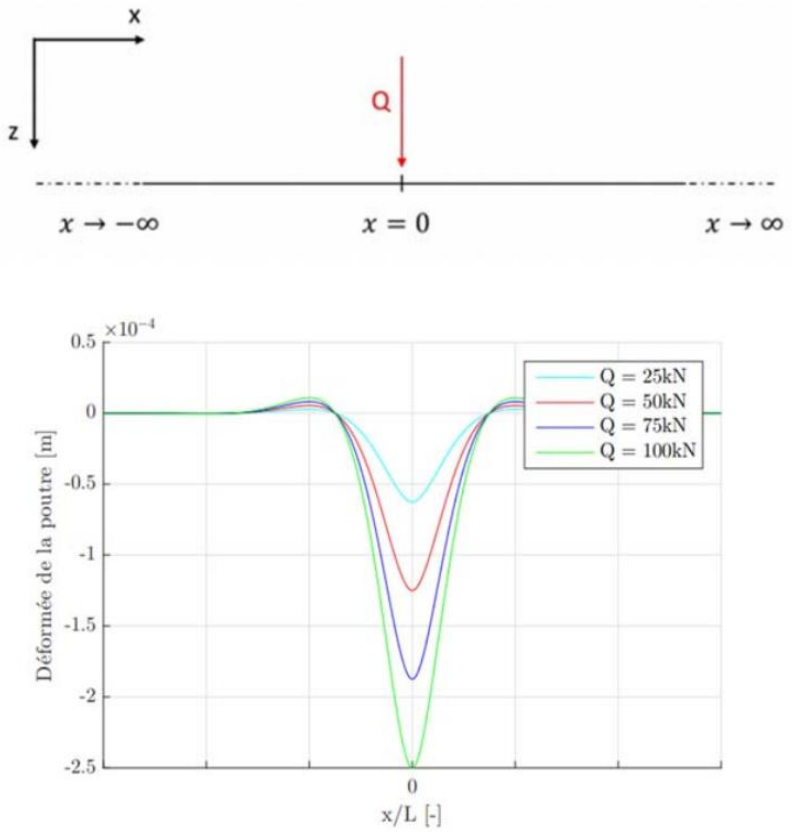


Figure I.1 : Déformée verticale d'une poutre infinie sur sol élastique

La figure représente la déformation z(x) de la poutre lorsque différentes charges ponctuelles sont appliquées. On remarque que théoriquement la voie se soulève et atteint un sommet d'un ordre de 10^{-5} m valeur petite. Ce phénomène est évidemment purement théorique, car en pratique le poids propre de la voie empêche le soulèvement de celle-ci.

La géométrie en I du rail offre une inertie beaucoup plus importante dans le sens vertical que dans le sens latéral, en empêchant le flambement vertical.

I.2.3.2. Stabilité dans le Plan horizontal

- **Stabilité thermique**

Lorsqu'une barre est posée sur rouleaux, libre de toute attache, elle peut se dilater ou se contracter librement. La barre est dite : "en dilatation libre" et ses variations de longueur sont

proportionnelles aux variations de température qu'elle subit. La loi générale de dilatation qui s'applique à cet état de libre dilatation est :

$\Delta L = L\alpha\Delta t$ avec :
ΔL : variation de longueur
L : longueur de la barre
α : coefficient de dilatation linéaire $10{,}5.10^{-6}$ k^{-1} pour l'acier à rail (de l'ordre de 10.10^{-7}pour l'invar, alliage de cuivre et de nickel)
Δt : Variation de la température du rail
t° : Température mesurée dans le rail et non température ambiante

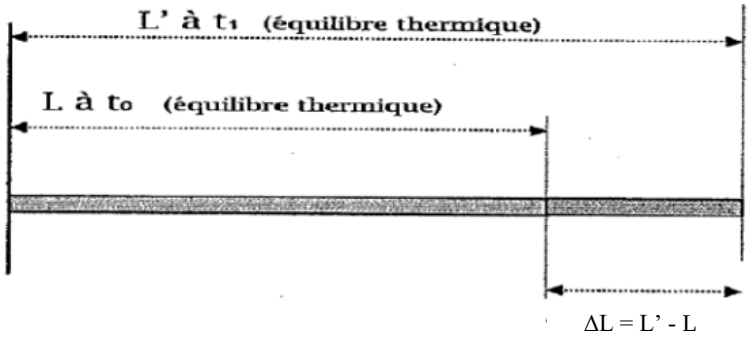


Figure I.2: L'équilibre thermique d'un rail

On dit aussi que dans cet état la barre est en "équilibre thermique" quelle que soit la température, seule sa longueur varie, les contraintes internes restent nulles

- **Équilibre statique**

S'opposer à l'allongement de la barre revient à exercer sur elle une force de sens opposé donnant une déformation égale à celle produite par l'allongement en appelle la situation un équilibre statique. La déformation est donnée par la loi de Hooke ($F/S = E \times \varepsilon = \Delta L/L \times E$ résistance des matériaux)

$$\Delta L = \frac{Fr.L}{ES}$$

Pour une force donnée, la variation de longueur est proportionnelle à la longueur de la barre et inversement proportionnelle à sa section.

Ainsi, pour obtenir l'opposition complète à la dilatation, telle que souhaitée pour la constitution d'un L.R.S., il faut que les deux formules précédentes soient égales :

$$\frac{Fr.L}{ES} = L\alpha\Delta t$$

L'effort dans la barre dû à la dilatation sera donc : $Fr = ES\alpha\Delta t$

On notera avec intérêt que la force est indépendante de la longueur de la barre, elle ne dépend que de la section et de la variation de température.

- Lors de la libre dilatation, la barre est en "état d'équilibre thermique" et la contrainte est nulle.

- Lorsque l'on s'oppose à la dilatation de la barre, une force F apparaît dans celle-ci, la barre passe de l'état d'équilibre thermique, à un état d'équilibre statique. Cet équilibre s'établit entre les forces apparues sous l'effet de l'élévation de température et les forces qui empêchent la dilatation.

❖ **Opposition à l'effort de dilatation**

Si l'on considère un L.R.S., ballasté et fixé sans contrainte à la température initiale t_0 ; la barre est à l'état neutre, en état d'équilibre thermique. La température varie ensuite de t_0 à t_1 L'effort, dû à la dilatation, va alors être transmis intégralement au ballast par l'intermédiaire des traverses qui sont solidaires du rail par les attaches élastiques.

Le poids de la voie, les frottements, et la butée longitudinale des traverses sur le ballast exercent une résistance R qui s'oppose à la variation de longueur produite par la variation de température Δt. Cette résistance est proportionnelle à la longueur de voie. Nulle à l'extrémité de la barre, cette résistance croît jusqu'à un point M, où elle se trouve égale à la force de dilatation.

Connaissant la résistance de frottement dû au ballast, on peut calculer la longueur de voie nécessaire pour bloquer l'allongement du rail, en tout point la résistance R du ballast : R = r.L
r : résistance au frottement du au ballast, elle est comprise entre 0,5 et 1 t/m de voie stabilisée.

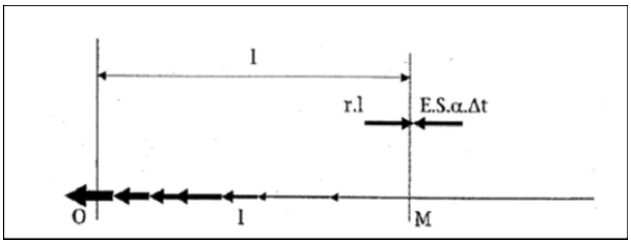


Figure I.3:Opposition des efforts (résistance du ballast et dilatation)

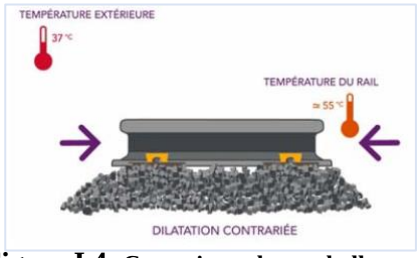


Figure I.4: Contraintes du aux ballaste

Sur cette longueur l, la résistance du ballast s'oppose partiellement et progressivement à la poussée exercée par la dilatation.

Sur cette longueur l, le mouvement de la barre est maximal à l'extrémité 0, car R = 0, mais il décroît progressivement pour être nul en M. A ce point la résistance est égale à la poussée.
Où 1 est la longueur de la zone de respiration : **L=** $\frac{ES\alpha\Delta t}{r}$

Entre les les points M et M'(M'est l'homologue de M vers l'autre extrémité de la barre), le rail ne subit aucun mouvement ; la dilatation est dans cette zone totalement contrariée, car la résistance du ballaste est supérieure à la force F=E.S.α.Δt, engendrée par la variation de température. Cette zone est appelée zone centrale.

A l'extrémité O de la barre, la force : F = E.S.α.Δt, produite par l'élévation de température, se dissipe en totalité sous forme de mouvement, la résistance du ballast étant nulle en ce point.Le point O se déplace.

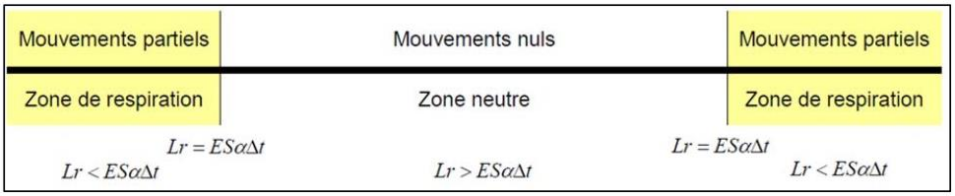


Figure I.5: Répartition des contraintes dans le rail

La résistance du ballast est représentée à partir de chaque extrémité de la barre, par une droite de pente r. Plus le taux de résistance du ballast est important, plus l'angle de cette droite est grand.

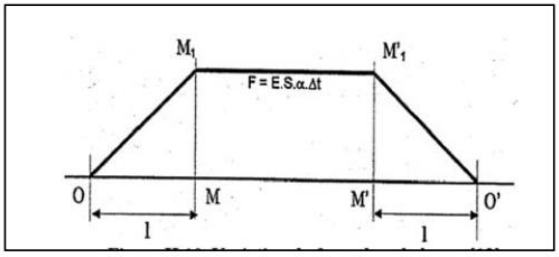


Figure I.6: Variation de force dans la barre

A partir de M et vers le centre de la barre jusqu'à M' la résistance du ballast est supérieure à F = E.S.α.Δt, force égale en tout point x de cette zone.

C'est une droite horizontale parallèle à OO', entre les points M1 et M1'.

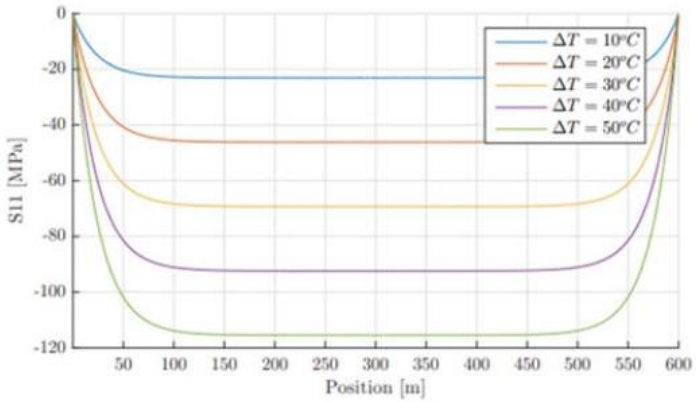


Figure I.7: Figure l'évolution des contraintes dans un long rail

La figure représente l'évolution des contraintes dans un long rail de 600m. On observe le plateau central de contraintes où le déplacement est empêché. Les contraintes aux extrémités s'annulent car elles sont laissées libres. C'est dans cette zone dite de respiration qu'ont lieu les déplacements. On peut aussi noter que la compression maximale lorsque le rail est chauffé de 50°C atteint 116 MPa, valeur que l'on comparera lorsque des aiguillages seront ajoutés au système.

Il est important de prévoir l'amplitude du déplacement résiduel en bout de barre pour concevoir les dispositifs à mettre en œuvre pour assurer la continuité du rail, les règles de pose de la voie, les appareils de dilatation (AD) et d'entretien.

I.2.4. COMPORTEMENT DE LA VOIE EN LONG RAILS SOUDES (LRS) SOUS LA VARIATION DE LA TEMPERATURE

Pour bien étudier le phénomène de dilatation thermique dans le rail et ses conséquences sur la bonne fonctionnalité de ce dernier, on doit d'abord mesurer le développement des contraints dans les rails sous la variation de température, enfin on fait un calcul de la variation de la longueur des barres de rails.

I.2.4.1. NOTION DE TEMPERATURE

La température dont il est question d'influence n'est pas la température ambiante, mais celle du métal constituant le rail proprement dit. Celle-ci peut être très différente de la température ambiante. Elle peut par exemple être très élevée lorsque le soleil chauffe la voie alors que l'air ambiant lui-même reste doux. De même, par temps froid, la température propre du métal est généralement inférieure à la température ambiante. On mesure cette température soit :

- En plaquant un thermomètre sur le patin du rail à l'ombre.
- En utilisant un thermomètre introduit dans un trou percé dans un coupon de rail de mêmes caractéristiques que le rail constituant le LRS et soumis aux mêmes conditions extérieures.

Toutes les températures mesurées sont celles du rail prises à l'intérieur d'un coupon de même profil, exposé à la même condition climatique que la voie. Certaines températures peuvent aussi être calculées à partir des allongements constatés.

- **La température neutre (Tn)**

C'est la température à laquelle les contraintes sont nulles, Cette notion ne concerne que la zone centrale des L.R.S.

- **La température de fixation (Tf)**

C'est la moyenne des températures observées pendant le serrage des attaches sur la longueur considérée. La fixation est considérée : comme acquise après boutonnage de la voie, opération qui fixe un minimum de 1 traverse sur 6.

- **La température de libération (Tl)**

C'est la température calculée pour chacune des files de rails après libération, à partir de la température du rail après mise à contraintes nulles et des déplacements constatés.

- **La température de référence (Tr)**

C'est la température de libération des deux files de rails. Si la température de libération de chaque file est différente, la température de référence est la plus basse des deux. Elle concerne chaque zone de libération.

Les températures tf, tl et tr ne peuvent être considérées comme définies que si les trois conditions suivantes sont réunies :

- La voie n'a pas subi de nouvelle opération de libération.
- La voie n'a pas subi de modification de tracé.
- Les opérations impliquant un desserrage des attaches dans les zones de respiration ont été réalisées en conformité avec les règles de la maintenance, (pas plus de 2 traverses consécutives à la fois, et pas plus de 20% sur 20 m).

Le non-respect de l'une de ces conditions rend nécessaire une nouvelle libération.

❖ Une première variation de température

Une première variation de température $\Delta t = t_1 - t_0$, fait passer la barre de l'état d'équilibre thermique à t_0 à l'état d'équilibre statique à t_1.

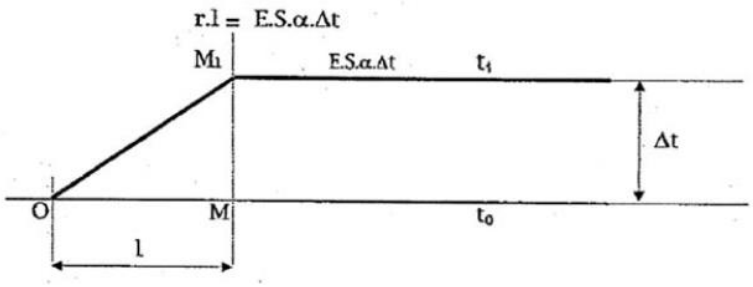


Figure I.8: La première variation de température

- Le déplacement en bout de barre est égal au déplacement total non contrarié (L.α.Δt) moins le déplacement contrarié par la résistance du ballast (loi de Hooke F/ES).
- La force R de résistance au ballast nulle en bout de barre est égale à L.r en M La force de résistance s'écrit R=r.x+k où k = 0 car R = 0 en bout de barre sur la longueur l :

$$\mathbf{R= \int_0^L r dx = r\frac{L^2}{2}}$$

La traduction du paragraphe précédent en équation donne :

$\Delta L = L\alpha\Delta t - \frac{rL^2}{ES}$ or $L = Es\alpha\Delta tr$

En remplaçant L par sa valeur et après simplification :

$\Delta L = \frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{4r}$

C'est une parabole de la forme :

$\Delta L = P\Delta t^2$ tel que: $P = \frac{ES\alpha^2}{2r}$

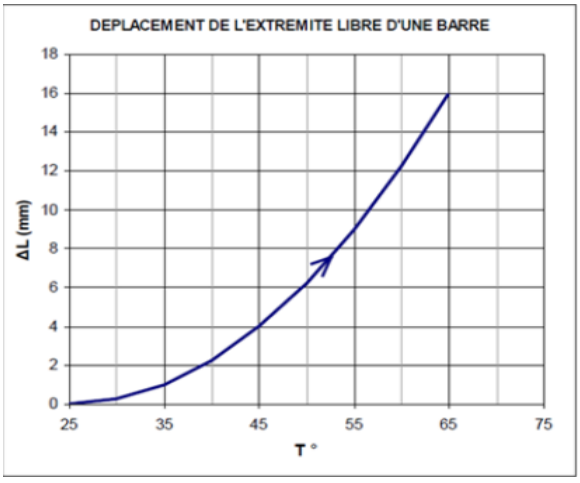


Figure I.9 : Représentation graphique de déplacement de l'extrémité d'une barre libre

❖ **Deuxième variation :**

Variation de la température de la barre entre t_1 et t_2 sachant que $t_2<t_1$, La température diminue de t_1 à t_2

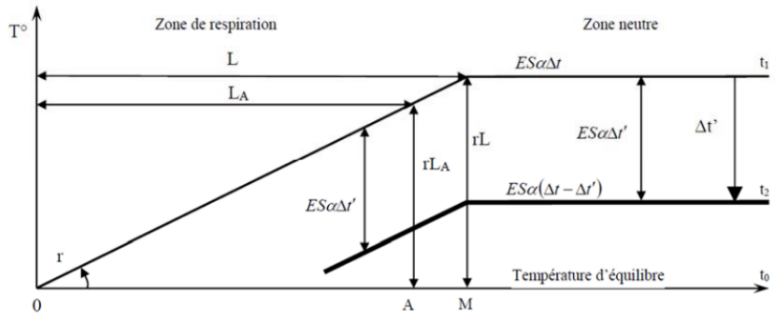


Figure I.10: Diagramme d'effort (deuxième variation de température)

- **Zone neutre**

Après la montée en température de t0 à t1, la barre se trouve en état d'équilibre statique entre les forces existantes dans la barre (ESαΔt) et la résistance du ballast. La diminution de température provoque l'apparition d'un nouveau diagramme des efforts (figure si dessus) et Δt' étant inférieur à Δt, il va subsister des forces. Cette simple diminution des contraintes, qui reste positive, ne provoque pas de mouvement et le nouveau diagramme des efforts est parallèle au précédent (Δt) avec F= Esα (Δt- Δt').

- **Zone de respiration**

· **Au point A**

Le point A a subi un déplacement lors de la montée en température de t_0 à t_1. La baisse de température de t_1 à t_2 se produit à partir de la nouvelle position du point A, en l'équilibre statique dans cette position, entre les forces existantes dans la barre et la résistance du ballast.

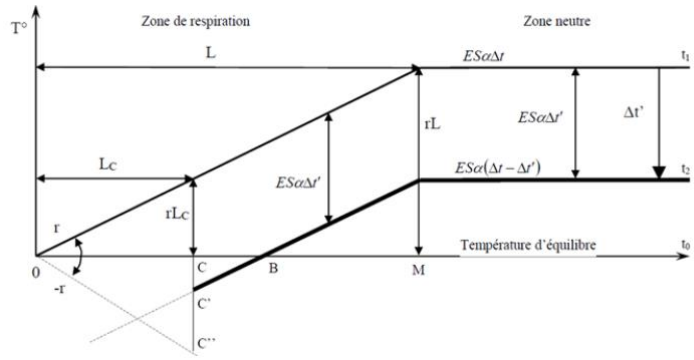


Figure I.11: Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point B C et D

· **Au point B**

Le phénomène est identique à celui du point A, mais nous obtenons un point de contraintes nulles : ESαΔt' est égale à la force existante dans la barre. Il n'y a donc pas déplacement du point B

· **Au point C**

À partir de B en allant vers 0 vont apparaitraient des forces négatives. En effet à partir de B et jusqu'à 0, la valeur des forces acquises dans la barre est inférieure à la valeur de diminution des contraintes sous Δt' : ESαΔt'. En C, la diminution des contraintes, d'une valeur ESαΔt', produit d'abords l'annulation de celles-ci puis l'apparition de contraintes négatives CC' mais les forces négatives mises en jeu reste toutefois inférieures à la résistance du ballast en C (égale à rLc ou CC'', C'' étant situé sur la droite de pente -r) il n'y a donc pas déplacement du point C.

· **Au point D**

D est le milieu de 0 B. En ce point, les forces négatives mises en jeu deviennent égales à la résistance du ballast rLD et elle vaut EαsΔt'/2. Le point D ne subit, comme le point C, aucun mouvement mais supporte des efforts négatifs, alors que la température est encore "chaude" (t2 > t0).

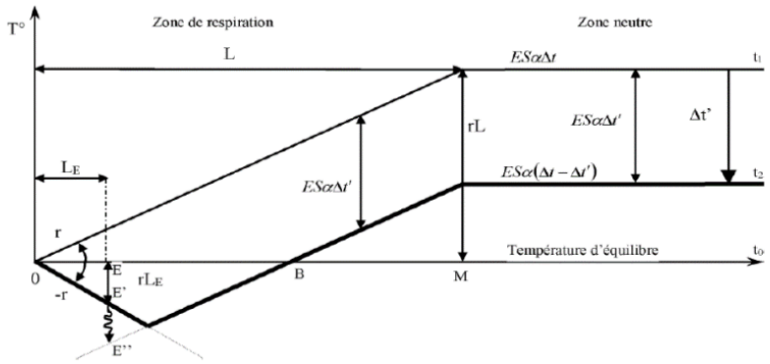


Figure I.12: Diagramme d'effort (deuxième variation de température) point 0 et D

· **Entre D et 0**

En E la diminution d'une valeur E.S.α.Δt' des forces provoque d'abords la disparition des contraintes positives existantes, le passage par un état de contraintes nulles puis l'apparition de contraintes négatives. Les forces négatives qui prennent ainsi naissance dans la barre deviennent égales, puis supérieures à la résistance du ballast égale à rLE (EE') en ce point Le point E se déplace avec dissipation des forces E'E'' sous forme de mouvement. Donc à partir du point D sur l'ensemble de la zone D 0 il y a déplacement de chacun des points de la barre de D vers 0. Le diagramme des forces existantes s'inscrit suivant la droite de pente (-r).

I.2.4.2. Calcul du déplacement de l'extrémité de la barre

Nous avons vu que les forces qui provoquent le déplacement apparaissent en D pour devenir maximales en 0 et égales à la valeur rLB = ESα.Δt'.

La loi de Hooke $\Delta \boldsymbol{l} = RL/ES$ permet de calculer le déplacement du point 0

Pour $L=L_D$ et la force $R=rL_D$ en remplaçant dans la formule,

On obtient $\Delta \boldsymbol{l}$=RL$_D$× RL$_D$ /ES

Ainsi : L$_D$ = $\frac{E\alpha S\Delta t'r}{2r}$

Donc : ΔL=$\frac{E^2\alpha^2S^2\Delta t'^2r}{4rES}$ = $\frac{ES\alpha^2\Delta t'^2r}{4r}$

Le déplacement résultant depuis la pose est : ΔL= $\frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{2r}$ − $\frac{ES\alpha^2\Delta t'^2}{4r}$

ΔL= $\frac{ES\alpha^2}{2r}$ (Δt^2 − $\frac{\Delta t'^2}{2}$)

Ce deuxième déplacement du point 0 est donc de la forme y=Px2, repérée par 2 flèches sur la figure ci-dessous :

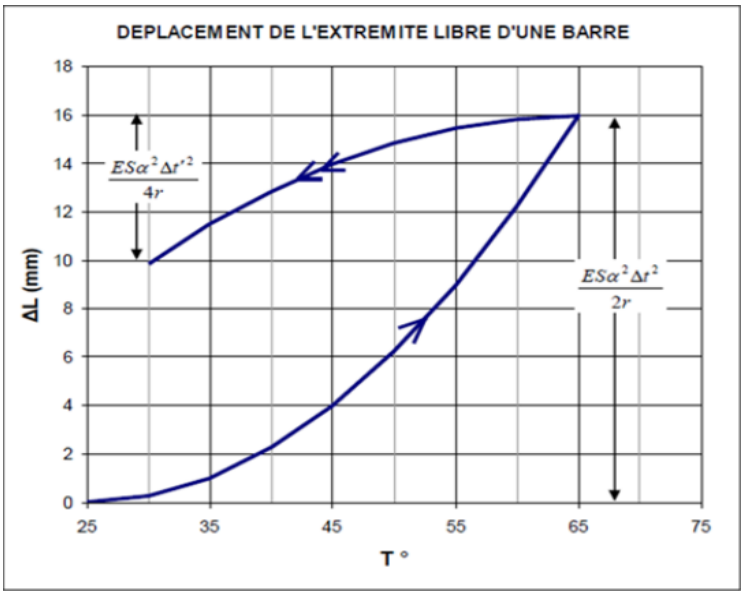


Figure I.13 : Déplacement de la barre pour la deuxième variation de température

I.2.4.3. Conséquences pratique

Si après avoir subi une élévation de température Δt, la barre subit une diminution Δt, c'est-à-dire si elle revient à sa température neutre, le diagramme des efforts est le suivant :

- Seule la zone centrale ou zone neutre retrouve l'état d'équilibre thermique ESαΔt
  Il subsiste des contraintes de valeur maximale $\frac{ES\alpha\Delta t'}{2}$ dans la zone de respiration qui se trouve à l'état d'équilibre statique

- Le point O, extrémité du L.R.S., a subi les mouvements suivants :

Allongement	rétraction
ΔL= $\frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{2r}$	$\Delta L'$=$\frac{ES\alpha^2\Delta t^2}{4r}$

- L'ouverture de l'appareil de dilatation est différente de celle qu'il avait à la pose.

I.2.5. CONCLUSION

Les longs rails soudés ont plusieurs problèmes liés à la conception ou à l'usure, pour bien maitriser ces derniers il faut comprendre la répartition soit des contraintes et/ou températures dans les rails. Donc la libération des contraintes est nécessaire pour la stabilité et la respiration de la voie et la pérennité de leurs composants.

I.2.6. SOLUTION POUR LIMITER LES RISQUES D'INSTABILITE DAND LES L.R.S

L'ensemble de ces études ont confirmé que la connaissance précise des phénomènes de stabilité et d'instabilité des LRS est une étape primordiale dans le bon fonctionnement des voies et le confort des trains :

- **A la pose des L.R.S**

A la pose, on choisit une température située à approximativement à égale distance entre les températures maximale et minimale, cette température peut être obtenue en utilisant des groupes de réchauffage au propane lors de 1'opération systématique de libération qui accompagne la pose de la voie. On peut également utiliser des dispositifs de traction par vérins hydrauliques.

La libération des contraintes est effectuée lorsque la voie est stabilisée, c'est-à-dire lorsque les résistances longitudinales et transversales de ballast ont atteint une valeur suffisante. A cet effet, une telle libération n'est effectuée que lorsque la stabilisation est acquise.

Apres libération des LRS, le serrage des attaches est réalisé de manière optimale, en fonction du type d'attache élastique utilise, au moyen de tirefonneuses de modèle agrée pour le serrage de ces attaches.

Une autre opération qui consiste à desserrer les attaches, mettre les rails sur rouleaux, éventuellement les chauffer à 25° puis remettre les rails en place et resserrer les attaches. Il est également possible d'utiliser des vérins hydrauliques : dans ce cas, on allonge les rails par traction d'une longueur égale à la dilatation libre q qu'aurait le rail entre 25 °C et la température du moment relevé au rail.

On fait appel à des dispositifs de dilatation autorisant ponctuellement un libre mouvement du rail suffisant sans pour autant induire coupure trop importante dans la continuité vis-à-vis du roulement.

- **A l'exploitation**

Pour anticiper les risques de dégradation des rails due à la déformation des rails sous la variation de la température il faut suivre des précautions particulières et des règles précises d'entretien comme suite :

- Une surveillance particulière de la température du rail.
- Prévisions : un logiciel calcul la température du rail en modélisant les météos de la région et permet ainsi de déterminer précisément la température d'une voie sur 13 jours pour prendre des mesures de sécurité et d'entretien.

- Sondes : un coupant de rail équipé d'une sonde transmet des données aux agents de la surveillance de voie et si les seuils d'alerte sont atteints des mesures de sécurité sont prises.
- Avant l'été il faut s'assurer que les rails ne comportent pas des points de fragilités, en cas d'anomalie la réparation doit être effectuée dans les meilleurs délais avant la saison chaude.
- Lorsqu'un risque de déformation de la voie est détecté, la décision est prise de limiter la vitesse des trains ralentissant de ce fait l'ensemble du trafic.
- Dans la période chaude, et en particulier lorsque la température du rail est supérieure à la température de libération des contraintes on entreprenne des opérations qui risquent de déconsolider le ballast, en particulier les opérations de nivellement par bourrage ou par soufflage.

I.3. CONCLUSION GENERALE

Ce travail a eu pour but de mettre en évidence le bagage théorique et méthodologique acquis durant tout le cursus, dans l'étude de comportement des longs rails soudés vis-à-vis à la stabilité et les conséquences de la variation de la température.

La voie ferrée est constituée de plusieurs éléments parmi ces derniers on trouve les rails qui jouent un rôle très important surtout après la naissance des longs rails soudés qui est une bonne technique qu'a plusieurs avantages dont la possibilité de circuler à une grande vitesse mais sa technique de pose nécessite une connaissance précise des phénomènes de stabilité qui se produisent dans des barres dont la compression peut atteindre et dépasser une centaine de tonnes.

Les Contraintes et les déplacements dans un rail sans défauts grâce aux fixations rail-traverse qui assurent le serrage entre ces éléments et un ballastage bien entretenu, les rails peuvent accepter des contraintes thermiques importantes

Enfin, cette recherche bibliographique nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nous connaissances acquises durant les cinq années de formation, mais aussi d'apprendre une méthodologie rationnelle pour mener une recherche scientifique dans le domaine ferroviaire.

CHAPITRE II :

GENERALITE SUR LES CHEMINS DE FER

II.1. INTRODUCTION

Le chemin de fer est un moyen de transport comprend le train, le métro et le tramway.
Le transport ferroviaire est utilisé pour transporter des passagers et des marchandises par des trains et des wagons spécialement conçus pour circuler sur des rails en fer.
Le chemin de fer relie les villes entre elles dans le même pays et comprend un réseau ferroviaire, il relie ainsi les pays et entrelace les réseaux d'un état avec ceux de ses voisins.
Les infrastructures de transport représentent la base sur laquelle repose le développement économique d'un pays.

L'infrastructure des chemins de fer est appelée voie ferrée. Elle se compose, la plupart du temps, de deux files de rails posés sur des traverses, d'appareils de voie, de la signalisation et le cas échéant des installations de traction électrique.



Figure II.1 : trains de SNTF

II.2. HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE

Avant l'indépendance

- La réalisation de chemin de fer algérien s'est passé par 3 programmes sont:

A/ Le programme de 1857

*Un décret daté du 8 avril 1857 autorisa la construction de 1357 km de ligne.
*Le 8 septembre 1862, L'objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1 365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

B/ Le programme de 1879

*Augmenter les lignes de chemin de fer avec plus de 1700 km donc la totalisant une longueur de 2035 km.

C/ Le programme de 1907

*En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes ferroviaires portant sur 1256 km lignes.

*En 1946, le réseau totalise 5 014 km de lignes.

*En 1959, l'État français et l'OCFA signent une convention créant la **Société nationale des chemins de fer français en Algérie (SNCFA)**.

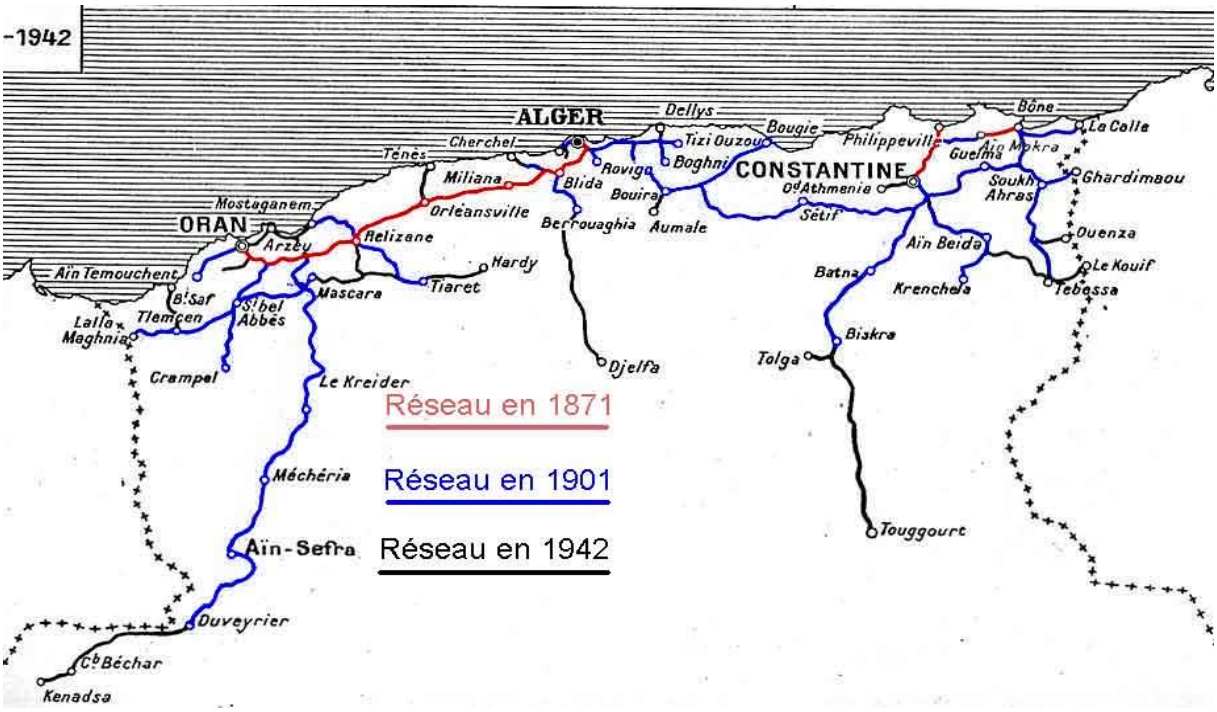


Figure II.2 : Réseaux voies ferrées algérien avant 1942

Après l'indépendance

- En 1963, La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la **Société nationale des chemins de fer algériens** (en gardant le même sigle SNCFA).
- En 1976, à la fin de la concession de l'État français, l'État algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts :

  - La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF),
  - La société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF)
  - La société d'engineering et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF).

Un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de1 400 km de voie et ballast.

- En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la **SNERIF** et de la **SIF** dont les prérogative sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990 pour devenir un **EPIC**.
- À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.
- En 2005**, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF)** est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.
- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouvertes **(Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar**), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.
- En 2015, sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

II.3. AVANTAGE DE CHEMIN DE FER

- Le transport par voie ferrée est souvent plus rapide que par la route (Système de guidage et absence d'obstacle).
- Il est relativement peu couteux, car la puissance développée par des moteurs électriques relativement légers permet le transport de charges importantes, parce que l'énergie n'a pas besoin d'être stockée, parce qu'elle est bon marché si elle est produite par des installations nucléaires
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermiques, solaire.
- Il garantit aux états leur indépendance énergétique a long terme, si le pays n'utilise pas d'hydrocarbures pour la production (Pétrole) de gaz ou de charbon pour la produite, et qu'il en détient pas.
- Fluidité du trafic et respect des délais.

II.4. RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN

Le réseau ferroviaire Algérien comporte trois ensembles :

1. **La rocade nord :** reliant Annaba, Constantine, Alger, Oran avec ses prolongements aux frontières Est (Tunisie) et Ouest (Maroc). Cette rocade constitue l'artère principale des échanges entre les régions actuellement les plus développées dans le pays avec des rattachements la reliant aux ports et à diverses villes.
2. **La ligne minière Est** avec ses embranchements desservant les gisements miniers : le fer à Ouenza et Boukhadra et le Phosphate à Djebel Onk.
3. **Les pénétrantes en direction des hauts plateaux et du sud et une rocade des hauts plateaux :** reliant les villes de Tébessa/Ain-Mlila/Ain-Touta/M'sila. Auxquels viennent s'ajouter les embranchements particuliers.

II.5. RESEAU FERROVIAIRE ACTUEL EN ALGERIE

Le réseau ferroviaire algérien sert au transport de personnes et de marchandises.
Actuellement ce réseau est de **4498km** dont :

- Lignes en exploitation : 3750km
- Lignes en double voie : 553km
- Lignes en voie unique : 3217km
- Lignes électrifiées : 323km

Ce réseau comporte :

- 175 gares en exploitation
- 215 haltes en exploitation
- 553 ouvrages d'art dont l'ouverture est supérieure à 10 m
- 5279 ouvrages d'art dont l'ouverture est inférieure à 10 m
- 139 tunnels avec un linéaire total de 40km
- 267 passages à niveau gardé et 959 passages à niveau non gardé

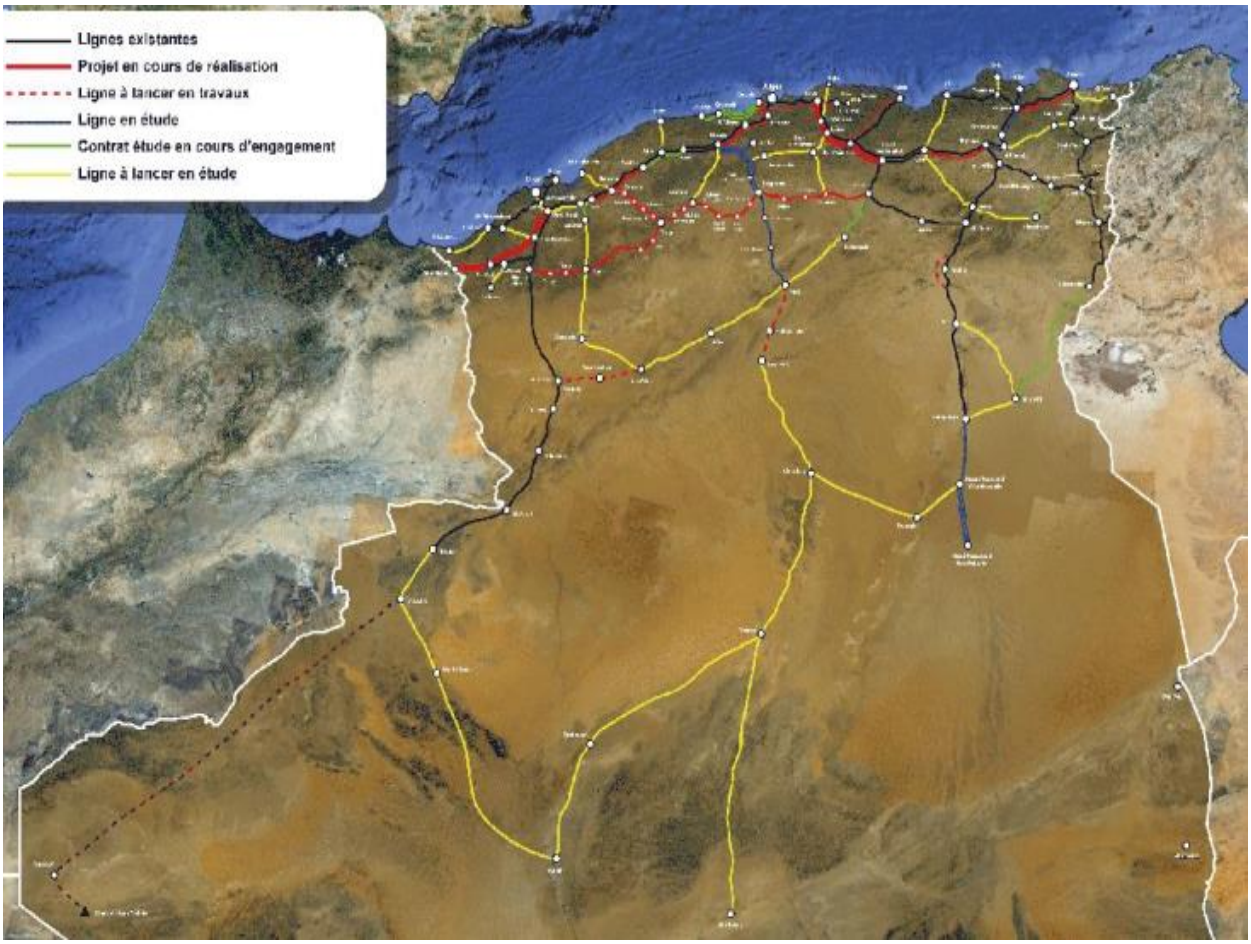


Figure II.3 : Réseau ferroviaire Algérien

CHAPITRE III :

PRESENTATION DE PROJET

III .1. DEFENITION DU PROJET

- Le présent projet a pour objet la construction du tronçon Tissemsilt – Boughezoul dans le cadre de la réalisation de la Rocade des Hauts Plateaux.
- Concernant notre projet est une réalisation d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique situé entre Tissemsilt-Colonel Bougara d'un linéaire de près de 20km de Pk 0+00 au Pk 20+00, il s'agit d'une étude APD (Avant-Projet Détaillé).
- La partie de PK 19+402 au 20+847 contient la conception de la gare de la ville de **Colonel Bougara.**



Figure III .1 : Localisation géographique de ligne de projet

III .2. LES CAUSES DU PROJET

On sait que les zones traversées par le projet contient un problème de déplacement entre les communes de Wilaya ou entre les Wilayas concerné, et contient du grand nombre de virages dans les routes du voitures donc risque de déplacement , et l'absence d'autoroute entre eux c'est pour ca ce projet a été étudié et réalisé pour plusieurs objectifs.

III .3. OBJECTIFS DU PROEJT

- ✓ Relié les zones isolées aux grandes villes
- ✓ Gagner du temps en déplacement et réduiser les risques.
- ✓ Faire inclure le tronçon dans le réseau ferré nationale et dans la ligne des hauts plateaux précisément

III .4. LA WILAYA DE TISSEMSILT

La Wilaya de Tissemsilt se situe à l'ouest du pays dans la région des hauts plateaux. Elle s'étend sur une superficie de 3152 km^2. Avec une population du 300 milles d'habitants.

Elle est délimitée :

- au nord, par les wilayas de Aïn Defla et Chlef
- à l'ouest, par la wilaya de Relizane .
- à l'est, par la wilaya de Médéa.
- au sud, par la wilaya de Tiaret et Wilaya de Djelfa

✓ Le climat dans la wilaya de Tissemsilt est un hiver froid humide et été chaud et sec. La température moyenne hivernale est comprise entre 0 et 6°C et la température d'été entre 32 et 40°C. la pluviométrie moyenne annuelle dans la wilaya de Tissemsilt varie entre 300 et 600 mm de pluie.



Figure III .2 : Délimitations géographiques de la wilaya de Tissemsilt

III .5. CARACTÉRISTIQUES DES TRONÇONS PROJETÉS

III .5. 1.Conditions de Base

Le tracé est conçu pour une ligne de chemin de fer à voie unique. Cependant, tous les ouvrages d'art comme les ponts rails, les ponts routes etc. ont été dimensionnés pour une extension par une deuxième voie et une électrification ultérieure.
Du au fait que le tracé sera clôturé sur toute sa longueur, des passages dénivelés ont été prévus, notamment aux endroits où se trouvent actuellement des routes secondaires et chemins ruraux, afin de donner la possibilité de traverser la ligne de chemin de fer.

III .5. 2.Caractéristiques Techniques

La vitesse maximale sur cette voie est 160km/h. Les caractéristiques géométriques et techniques pour les études d'exécution seront basées sur les caractéristiques fondamentales mentionnées ci-après ; les paramètres non précisés seront déduits des recommandations UIC et des pratiques de la S.N.T.F.

III .5.3. Caractéristiques de Base

- Longueur 132+009 km**,** pour notre étude la longueur de tracé est de **20 km** (du **pk 00+000** au **pk 20+000**).
- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC
- Largeur de plateforme 8m (cas d'un voie unique)
- Ponts-rails et ponts-routes prévus pour double voie
- Trafic mixte voyageurs et marchandises
- Traction actuellement diesel
- Ligne sans passages à niveau
- Gares de croisement conçues pour garer des trains de 750 m
- Ligne clôturée de bout en bout
- Vitesse des trains de voyageurs **:160km/h.**
- Vitesse des trains de marchandises **: 100km /h.**

III .6. CARACTERISTIQUE DE LA VOIE

III .6. 1. Ecartement

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

III .6. 2. Gabarit

Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC

III .6. 3. Entraxes des voies

- L'entraxe des voies est de 4,20 m.

Tableau III .1 : L'entraxe des voies

La voie	L'entraxe
Voies de croisement	5,00/6,50 m
Voies en gares voyageurs	5,00 m.
Voies en gares des marchandises	5,00 m.

III .6. 4. Vitesse maximale

Tableau III.2 : Vitesse maximale

Vitesse des trains de voyageurs	**160 km/h**	
Vitesse des trains de marchandises	**100 km/h**	
Vitesses de branchement dans les appareils de voie	UIC-60 300-1:9	**50 km/h**
	UIC-60 500-1:12	**60 km/h**

III .6. 5. Charges à l'essieu

Tableau III .3 : Charges à l'essieu

Pleine voie	**20 t**
Ouvrages d'art	**25 t**

III .6. 6. Rayon minimum

R_{min}= 975m

Exception :

R_{min}=800 m à **l'**entrée de la gare de Tissemsilt à cause de conditions topographiques exceptionnelles.

III .6. 7. Dévers :

Tableau III .4 : Dévers et l'insuffisance et excès de dévers max

Dévers maximal	**Dmax = 160 mm**
Insuffisance de dévers maximum	**Imax = 160 mm**
Excès de dévers maximal	**Emax = 110 mm**

III .6. 8. Longueur minimum des éléments de tracé

La longueur minimum des éléments en plan et en profil en long est de V/2 [m],

V : la vitesse maximale de la voie en question en [km/h].

III .6. 9. Déclivité

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

Tableau III .5 : La déclivité

La déclivité maximale	**16‰**
La déclivité dans les gares et gares de croisement	**0‰**

CHAPITRE IV :

AVANT-PROJET-SOMMAIRE ET CHOIX DE VARIANTE

IV.1. INTRODUCTION

L'analyse multicritères est un outil d'évaluation et d'aide à la décision. Elle ne repose pas seulement sur la valeur économique, mais aussi sur d'autres comme les critères environnementaux et sociaux du lieu à étudier. Cet outil permet notamment de comparer plusieurs scénarios pour aboutir à une solution finale idéale.

IV.2. DESCRIPTION DES DEUX VARIANTES I ET II

Notre tronçon présente une liaison de Tissemsilt vers Bougara et qui inclut dans le grand projet qui va relie Tissemsilt et Boughezoul et qui présente une ligne à une seule voie électrifiée construite selon les standards UIC et SNTF avec des ouvrages d'art qui sont dimensionnés pour deux voies.

Après avoir présenté les variantes, nous allons procéder à l'analyse des critères qui est aux foies quantitatifs (estimation des quantités d'infrastructure) et technique (Impact sur l'environnement, les ouvrages d'art, temps de parcours, Estimations des mouvements de terres) afin de pouvoir choisir à la fin une seule variante adéquate.

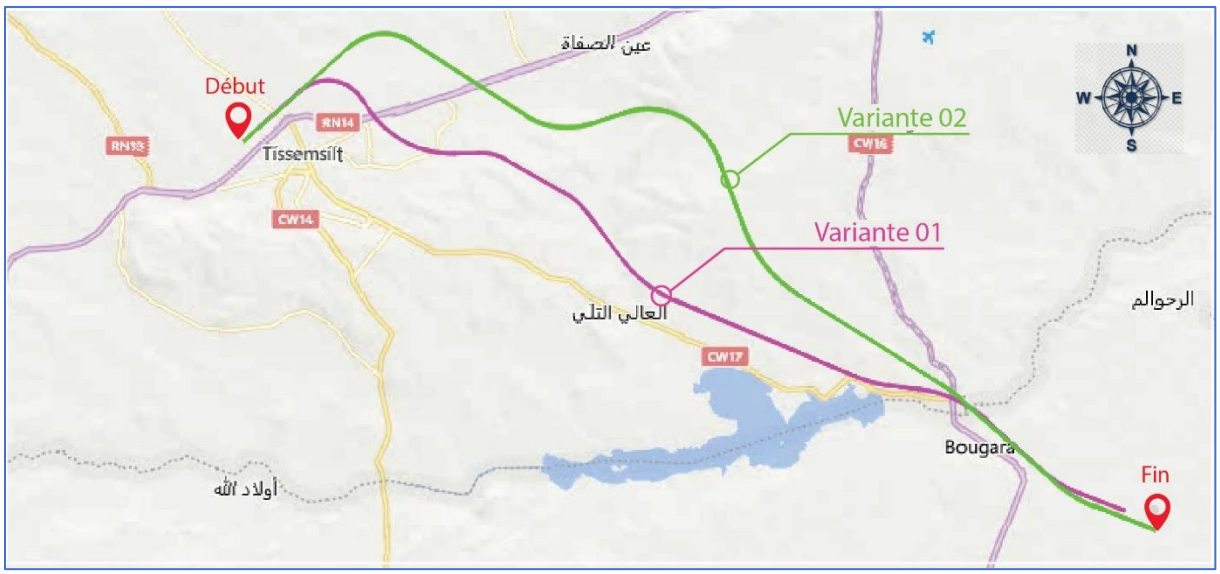


Figure IV.1 : les deux variantes

IV.2.1. DESCRIPTION DE LA VARIANTE I

La variante est de longueur de 20 km qui se dirige du nord vers le sud-est et qui se lance de la gare de Tissemsilt qui atteint une altitude de 876,18 m vers la gare de Bougara qui a 846,03 m comme altitude

Cette variante va traverser des routes et des oueds donc elle nécessite soit un pont rail dans les cas des routes (passage supérieur) ou des oueds avec un débit important ou bien des ouvrages busés ou (ouvrages d'assainissement) dans le cas des petit oued (chaabat) on va les illustrer dans le tableau IV.1 **:**

Tableau IV.1 : les pk de contraintes et la solution proposé de variante I

Pk	Contrainte	Solution
0+525	Route (CW90)	Pont rail
2+750	Route (RN14)	Pont rail
3+900	Route	Pont rail
4+925	Route	Passage supérieur
8+600	Oued	Pont rail
10+025	Route	Passage supérieur
15+800	Route	Pont rail
16+225	Oued nhar ouassel	Pont rail
16+725	Route	Passage supérieur
17+000	Route	Pont rail
18+350	Route	Passage supérieur
19+125	Route	Passage supérieur

- **Listing de la géométrie de l'axe en plan**

Tableau IV.2 : Listing de la géométrie de l'axe en plan de variante I

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	391447.4642	3941651.0396
DR1	ANG=53.6600 (g)	1060.912			
			1060.91	392239.5081	3942356.8731
ARC2	XC=392771.7546				
	YC=3941759.6180				
	R=800.000	1370.642			
			2431.55	393438.5474	3942201.6445
DR3	ANG=162.7323 (g)	200.789			
			2632.34	393549.4901	3942034.2885
ARC4	XC=395216.4719				
	YC=3943139.3548				

	R=2000.000	2004.346			
			4636.69	395250.0244	3941139.6363
DR5	ANG=98.9319 (g)	501.964			
			5138.65	395751.9179	3941148.0573
ARC6	XC=395768.6941				
	YC=3940148.1980				
	R=1000.000	531.155			
			5669.81	396260.6874	3941018.7971
DR7	ANG=132.7463 (g)	1305.697			
			6975.51	397397.4259	3940376.4029
ARC8	XC=396659.4360				
	YC=3939070.5044				
	R=1500.000	612.204			
			7587.71	397855.1194	3939976.2314
DR9	ANG=158.7291 (g)	1142.277			
			8729.99	398544.8467	3939065.6971
ARC10	XC=400537.6522				
	YC=3940575.2421				
	R=2500.000	1315.300			
			10045.29	399572.4156	3938269.0942
DR11	ANG=125.2352 (g)	3845.628			
			13890.91	403119.8502	3936784.3179
ARC12	XC=404085.0868				
	YC=3939090.4659				
	R=2500.000	662.216			
			14553.13	403757.2640	3936612.0526
DR13	ANG=108.3720 (g)	604.750			
			15157.88	404356.7919	3936532.7523
ARC14	XC=404028.9691				

	YC=3934054.3391				
	R=2500.000	1515.781			
			16673.66	405710.6609	3935904.1804
DR15	ANG=146.9711 (g)	1373.523			
			18047.18	406726.9806	3934980.2436
ARC16	XC=408408.6723				
	YC=3936830.0850				
	R=2500.000	926.109			
			18973.29	407510.7508	3934496.9032
DR17	ANG=123.3879 (g)	925.934			
			19899.23	408374.8996	3934164.3369

- **Listing de profil en long**

Tableau IV.3 : Listing de profil en long de variante I

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	859.165
D1	PENTE= 0.00%	1174.181		
			1174.18	859.165
D2	PENTE= 0.40%	875.074		
			2049.26	862.665
D3	PENTE= -1.30%	992.503		
			3041.76	849.763
D4	PENTE= 1.40%	1115.905		
			4157.66	865.385
D5	PENTE= 0.34%	1029.679		
			5187.34	868.908
D6	PENTE= -0.08%	1687.728		
			6875.07	867.634
D7	PENTE= -1.60%	1677.739		
			8552.81	840.790
D8	PENTE= -0.50%	1319.357		

			9872.17	834.193
D9	PENTE= -0.20%	1742.758		
			11614.92	830.708
D10	PENTE= -1.50%	1285.076		
			12900.00	811.432
D11	PENTE= 1.00%	1216.349		
			14116.35	823.595
D12	PENTE= -1.20%	1206.772		
			15323.12	809.114
D13	PENTE= 0.10%	2051.879		
			17375.00	811.166
D14	PENTE= 1.60%	1497.737		
			18872.74	835.130
D15	PENTE= 0.00%	1026.270		
			19899.01	835.130

IV.2.2. DESCRIPTION DE LA VARIANTE II

La variante est de longueur de 23 km qui se dirige du nord vers le sud-est et qui se lance de la gare de Tissemsilt qui atteint une altitude de 876,88 m vers la gare de Bougara qui a 842,96 m comme altitude

Cette variante présente aussi des multiples contraintes telles que la traversée de cours d'eau ou la traversée de routes :

Tableau IV.4 : les Pk de contraintes et la solution proposé de variante II

Pk	Contrainte	Solution
0+925	Route (CW90)	Pont rail
5+525	Route (RN14)	Pont rail
6+350	Route	Pont rail
8+650	Oued	Pont rail
13+675	Route	Pont rail
17+750	Route	Passage supérieur

18+200	Oued nhar ouassel	Pont rail
18+975	Route	Pont rail
20+350	Route	Passage supérieur
21+075	Route	Passage supérieur

- **Listing de la géométrie d'axe**

Tableau IV.5 : Listing de la géométrie de l'axe en plan de variante II

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	391134.3227	3941411.9171
DR1	ANG=53.7331 (g)	2774.992			
			2774.99	393208.1637	3943255.7616
ARC2	XC=393872.6141				
	YC=3942508.4293				
	R=1000.000	1296.181			
			4071.17	394411.7602	3943350.6416
DR3	ANG=136.2506 (g)	2672.077			
			6743.25	396662.2164	3941910.0017
ARC4	XC=397470.9355				
	YC=3943173.3201				
	R=1500.000	1336.255			
			8079.50	397944.7975	3941750.1354
DR5	ANG=79.5382 (g)	658.455			
			8737.96	398569.5325	3941958.1464
ARC6	XC=399043.3945				
	YC=3940534.9617				
	R=1500.000	2304.026			
			11041.98	400449.2414	3941058.0246
DR7	ANG=177.3241 (g)	1475.796			
			12517.78	400963.8642	3939674.8622
ARC8	XC=403306.9422				

	YC=3940546.6336				
	R=2500.000	1635.742			
			14153.52	401978.3274	3938428.9031
DR9	ANG=135.6702 (g)	3345.851			
			17499.37	404812.5715	3936650.7643
ARC10	XC=403483.9567				
	YC=3934533.0337				
	R=2500.000	402.803			
			17902.18	405135.1003	3936410.1924
DR11	ANG=145.9275 (g)	2553.470			
			20455.65	407052.4077	3934723.7341
ARC12	XC=408703.5513				
	YC=3936600.8928				
	R=2500.000	887.091			
			21342.74	407807.4624	3934267.0067
DR13	ANG=123.3379 (g)	1263.898			
			22606.64	408987.3800	3933813.9807

❖ **Listing de profil en long**

Tableau IV.6 : Listing de profil en long de variante II

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.45	863.784
D1	PENTE= -0.66%	851.811		
			0852.26	858.185
D2	PENTE= 0.24%	1772.735		
			2625.00	862.378
D3	PENTE= -1.08%	1315.249		
			3940.25	848.137

D4	PENTE= -0.09%	2123.763		
			6064.01	846.205
D5	PENTE= 1.60%	2060.988		
			8125.00	879.181
D6	PENTE= 0.52%	749.411		
			8874.41	883.069
D7	PENTE= -0.19%	1479.642		
			10354.05	880.275
D8	PENTE= 0.53%	1019.398		
			11373.45	885.707
D9	PENTE= -0.44%	934.081		
			12307.53	881.587
D10	PENTE= -1.60%	2227.712		
			14535.24	845.944
D11	PENTE= -1.05%	2862.496		
			17397.74	815.781
D12	PENTE= -0.69%	1577.579		
			18975.32	804.824
D13	PENTE= 1.60%	1774.678		
			20750.00	833.237
D14	PENTE= 0.01%	1855.837		
			22605.83	833.385

IV.3. PRINCIPE DE LA PONDERATION

La pondération des critères tient compte de leur importance dans le projet et aux risques associés tels que :

Tableau IV.7 : principe de la pondération

Critère	Pondération
Mouvement de terre	40
Impact sur l'environnement	40
Les ouvrages d'art	60
Temps de parcours	80
Difficulté d'exploitation (pente, rampe)	30
Totale obtenu	250

IV.4. PRINCIPE DE LA NOTATION PAR CRITERE

Tableau IV.8 : principe de la notation par critère

Critères	Pondération
Plus faible	5
Faible	4
Moyen	3
Elevé	2
Plus élevé	1

IV.5. METHODE D'EVALUTATION

En ce qui concerne les critères ayant une valeur arithmétique (temps de parcours, mouvement des terres et estimation des quantités), la notation se fait en raison des valeurs respectives, par la simple règle de trois.

Pour les critères qualitatifs (impact sur l'environnement, difficultés de réalisation) l'évaluation a été basée sur l'évaluation des contraintes propres de chaque variante.

- **Estimations des mouvements des terres (déblai et remblai)**

Tableau IV.9: Estimations des mouvements des terres (déblai et remblai)

Variante 01	Volume déblai	5776205.25 m^3	4
	Volume remblai	995373.57 m^3	
Variante 02	Volume déblai	10915530.23 m^3	2,17
	Volume remblai	2098695.32 m^3	

❖ **Impact sur environnement**

La notation est basée sur les éléments environnementaux (ressources hydrauliques, impact sur les structures et la Population, Ecosystème) et le barème est repris sur le Tableau IV.10 pour chaque élément :

Tableau IV.10: Impact sur environnement

Degré d'importance	Notation
Faible	4
Moyen	3
Important	2
Grave	1

- **Détail sur les ressources hydraulique**

Chaque variante est notée selon le nombre de traversée des oueds, en donnant la note complète (4 points) pour la variante de moindre franchissement, et la note de la deuxième variante sera obtenue à l'aide de la règle à trois.

Tableau IV.11: nombre d'oued traversé dans chaque variante

Variante	Nbr d'oued traversé
01	15
02	17

Donc pour la variante 01 la note sa sera 4 points et pour la variante 02 la note est calculer comme suit : (4/17) x 15 = 3,53

- **Impact sur les structures urbaines et population**

La notation de ce critère est a été faite selon le Tableau IV.12:

Tableau IV.12: Impact sur les structures urbaines et population

Impact sur l'urbanisme	Notation	Description d'impact
Faible	4	Evitement de l'agglomération
Moyen	3	Contourner avec nuisance
Important	2	Coupure/déranger/démolition limité
Grave	1	Coupure/déranger/démolition

- **Ecosystème :**

L'effet sur l'écosystème est base sur la prise en considération des éléments suivante :

- Travers des forêts (flore)
- Traverse des terrains agricoles
- La faune

❖ **Les ouvrages d'art :**

L'évaluation a été basée sur le nombre et la longueur totale des ouvrages à réaliser.

Tableau IV.13: nombre d'ouvrages et leurs notations

Nbr d'ouvrages	NOTATION
Faible	4
Moyen	3
Important	2
Grave	1

❖ **Temps de parcours**

Tellement l'évaluation du temps de parcours est dépendue de plusieurs paramètres telle qu'au matérielle roulant et sa performance et l'exploitation, nous essayant ici de faire une comparaison de base sur le linéaire des deux variantes, Donc on obtient ce Tableau IV.14:

Tableau IV.14: la note totale pour chaque variante

Critère	Variante 1		Variante 2	
	Note /5	Note	Note /5	Note
Estimations des mouvements des terres	4	32	2,17	17,36
Impact sur l'environnement	3,66	29,28	3,18	25,44
Les ouvrages d'art	3,2	25,6	4	32
Le temps de parcours	4	32	3	24
Difficulté d'exploitation (pente rampe)	4	32	3	24
Total obtenu sur 250 points		150,88		122,8

IV.6. CONCLUSION

D'après l'analyse multicritère qui est basée sur plusieurs facteurs énoncés déjà dont la comparaison des quantités à ressortie la variante I comme meilleure tracé de point de vue conception et économie. A cet effet, nous avons choisi cette variante pour l'approfondir dans l'étude d'Avant-Projet Détaillé.

CHAPITRE V:

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

V.1. INTRODUCTION

La terminologie ferroviaire désigne par la voie l'ensemble des constituants assurant la circulation des trains et supportant les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux.
La voie est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticité variable qui transmettent à la plate-forme, elle-même déformable, la charge dynamique des roues. Ces éléments sont essentiellement constitués de : les rails, les traverses, les semelles et les attaches.

V.2. LES COMPOSANTES DE LA VOIE

V.2.1. Les rails

Les rails sont des longues barres d'aciers profilées de 18 m et 36 m qui constituent le chemin de roulement, Ils servent au guidage des roues des convois et la transmission des charges.

V.2.1.1. Le profil du rail

Est caractérisé par**:**
• La hauteur du rail.
• La largeur de son champignon (partie supérieure qui reçoit la roue).
• La largeur de son patin (partie inférieure du rail qui repose sur la traverse).
• L'épaisseur de l'âme du rail (partie intermédiaire qui relie champignon et patin).
• L'aire de la section totale du rail.
• La masse (en kg/m) en norme de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC).
• La nuance d'acier du rail détermine la réaction à la traction.

V.2.1.2. Le rôle du rail

- ✓ Support le contacte des roues.
- ✓ Le guidage des roues afin que les matériels roulants ne soient pas déraillés.
- ✓ La transmission des charges verticale des roues aux traverses.

V.2.1.3. Les types de rail

Il existe 3 types de rails sont:

- **Le rail Vignole**
- **Rail à gorge**
- **Les rails à double champignon**

❖ **Le rail Vignole**

Le rail **Vignole** a aujourd'hui entièrement remplacé les différents types de rails pour les voies ferrées ballastées. Ce type de rail comprend trois parties :
•**le champignon** caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de

roulement et l'inclinaison de ses faces latérales, il assure le guidage le plus satisfaisant de la roue.

•**l'âme et portées d'éclissage**: Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage, le rôle de l'âme est de résister au cisaillement produit par le chargement de la voie.

•**le patin** caractérisé par sa largeur ainsi que par l'épaisseur et la forme de ses ailes, Il permettant l'appui sur la traverse.

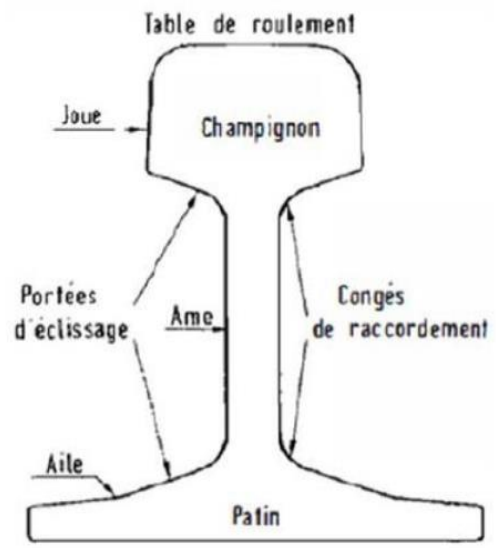


Figure V.1: Nomenclature d'un rail Vignole



Figure V.2: Le rail Vignole

❖ **Rail à gorge**

Ces rails sont utilisés pour les voies encastrées dans les chaussées routières, surtout dans les lignes de tramway.

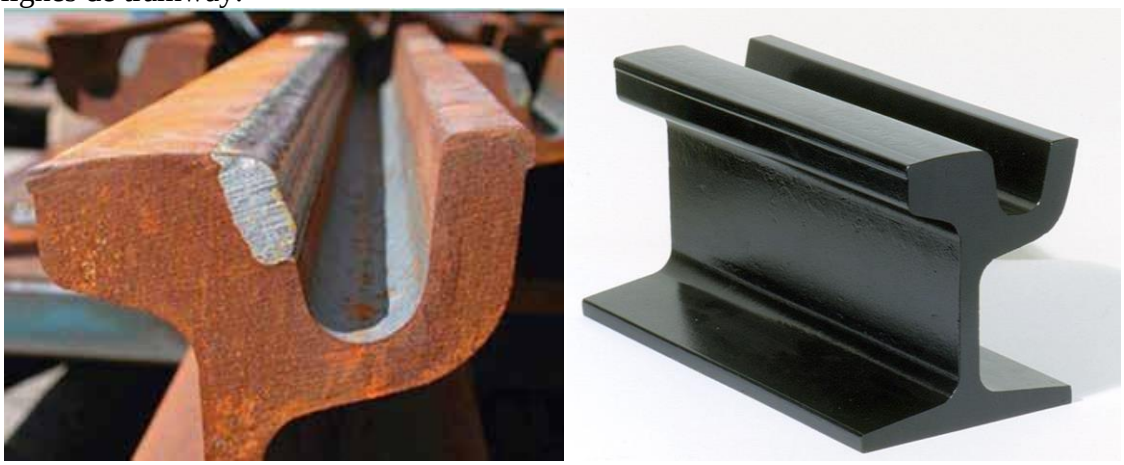


Figure V.3: Rail à gorge

❖ **Rail à double champignon**

Le rail à double champignon symétrique avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc de doubler sa durée de vie.



Figure V.4: Rail à double champignon

- Dans notre projet on a utilisé des rails de type **Vignole UIC 60E1.**

V.2.1.4. Les caractéristiques du rail Vignole UIC 60 E1

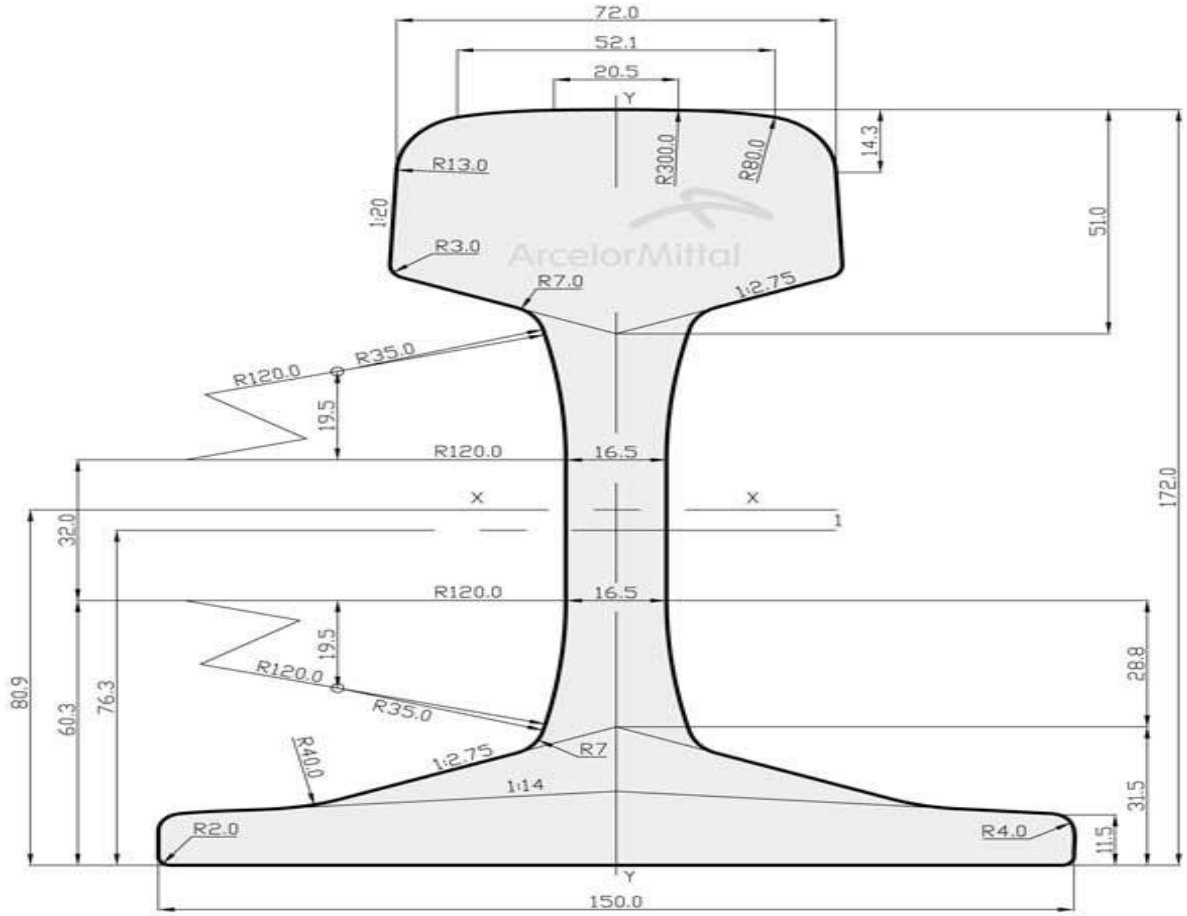


Figure V.5: Section du rail Vignole 60E1

Selon norme Européen Standard EN 13674-1 :
- Hauteur totale : 172mm
- Épaisseur Champignon : 72mm
- Épaisseur patin : 150mm
- Épaisseur âme : 16.5mm
- Surface de la section : 76.7 cm2
- Masse par mètre : 60.21 kg/m
- Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- Moment d'inertie (Axe X – X) : 3038,3 cm4
- Module d'Inertie champignon : 333.6 cm3
- Module d'inertie patin : 375.5 cm3
- Moment d'inertie (Axe- Y-Y) : 512,3 cm4
- Dimension indicative A : 20.5 mm
- Dimension indicative B : 52.1 mm
- Allongement ≥10%.
- Dressage : classe A
- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW (*Hardness Brinell Wolfram)*

V.2.1.5. Assemblage des rails

L'assemblage des rails se fait par deux méthodes, soit par :
- Les longs rails soudés (LRS)
- Les éclisses

❖ Les longs rails soudés (LRS)

✓ Les longs rails soudés (LRS) appelés aussi (barres longue), 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.

✓ Les longs rails soudés sont constitués d'une multitude de rails de longueur normale, conditionnés par les techniques de fabrication et de transport, soudés entre eux sur place.

✓ Cette technique offre de nombreux avantages, notamment :
- Une amélioration de la qualité de trajet.
- Une usure moins des rails.
- Un coût de maintenance extrêmement réduit.
- Permis l'augmentation de la vitesse des trains.
- Réduire les discontinuités dans la voie et par conséquent d'éliminer les chocs aux passages des roues



Figure V.6: Les longs rails soudés (LRS)

- ✓ Il existe deux type de soudure sont:
  - Le soudage électrique.
  - Le soudage aluminothermique.

➢ Le soudage électrique

Le soudage 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.



Figure V.7: La méthode de soudage électrique

➢ Le soudage aluminothermique

Le soudage aluminothermique est un procédé de soudage utilisant la chaleur générée par une réaction chimique exothermique entre les composants de l'aluminothermie (un mélange d'un oxyde métallique et d'un aluminium en poudre).Le métal fondu, produit par la réaction joue le rôle de matériau de remplissage reliant les pièces à usiner après solidification, notamment utilisant pour le soudage des rails.



Figure V.8: la méthode de e soudage aluminothermique

❖ L'éclissage

-Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique servant à raccorder deux rails consécutifs d'une voie ferrée. Les éclisses sont apposées par paire, à l'aide de boulons.
-Le passage de trains à l'intersection des rails et donc sur les éclisses provoque des vibrations et des chocs répétitifs qui, à la longue, peuvent provoquer le desserrage des boulons-écrous, voire le bris des éclisses.
Le temps et les intempéries peuvent également provoquer l'apparition de rouille et le blocage des boulons-écrous.
Périodiquement, les bénévoles contrôlent les éclisses de manière visuelle et en testant tous les boulons-écrous.
Si des problèmes sont constatés, plusieurs solutions sont possibles :

- Resserrage des boulons-écrous à la clé dynamométrique
- Si le resserrage est impossible, le boulon est disqué et remplacé.

-L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

- ✓ Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportement comme une poutre Continue.
- ✓ Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- ✓ Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre.

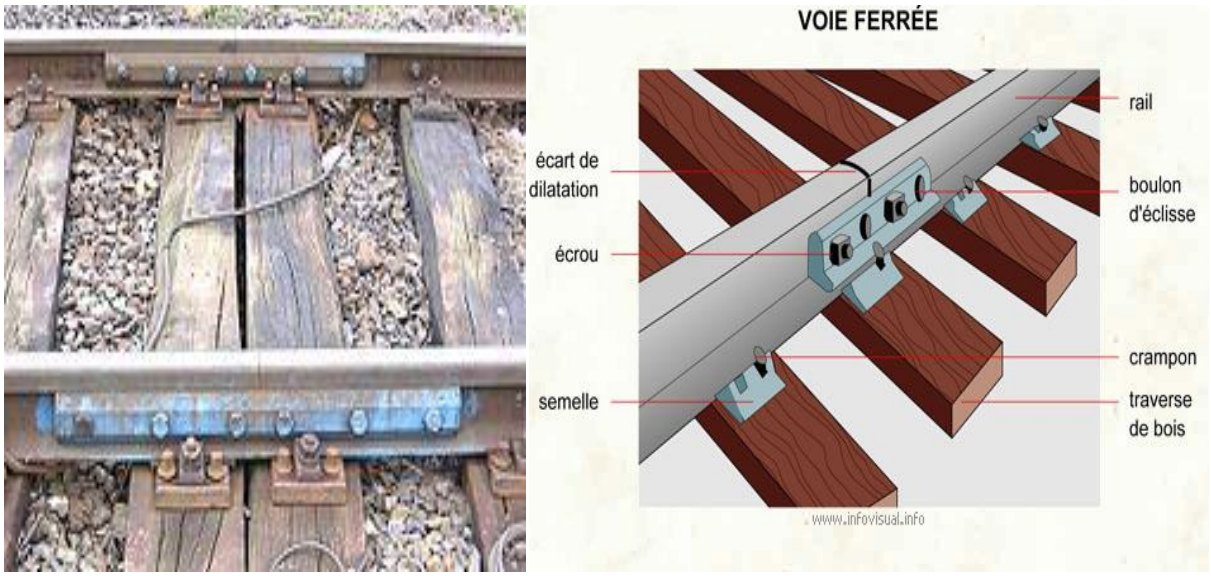


Figure V.9: Eclissage des rails

V.2.2. Les traverses

Les traverses sont des éléments en bois, en métal ou en béton. Elles sont des éléments qui se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails. Le rôle de traverse est de maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. on distingue 3 types de traverses :

❖ Traverses en bois

Traditionnellement les traverses sont en bois dur, elles sont généralement en chêne. Leurs dimensions sont généralement de 2,6 m de longueur, 25 cm de largeur et 15 cm d'épaisseur.

• Avantages des traverses en bois :

- ✓ Peu fragiles aux chocs.
- ✓ Assure une bonne élasticité de la voie.
- ✓ Bonne isolation électrique.
- ✓ Leur souplesse favorise le confort
- ✓ Elles peuvent être rectifiées sur place.

• Inconvénients :

- ✓ Elles sont sensibles aux agents atmosphériques (traverses en chêne)
- ✓ Résistance latérale peu élevée
- ✓ Coûts d'entretien devenant élevés
- ✓ Leur durée est limitée.



Figure V.10: Traverses en bois

- **Traverse métallique**

Les travers métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisés. la traverse métallique est abandonnée en raison de son coût élevé et des difficultés qu'elle suscite pour l'entretien du nivellement et du dressage de la voie.

Avantages de traverses métalliques:

- ✓ Imputrescible
- ✓ Peu d'entretien

Inconvénients :

- ✓ Corrosion.
- ✓ Difficultés pour assurer l'isolement électrique entre les 2 files de rail.



Figure V.11: Traverses métalliques

❖ **Traverses en béton**

Les traverses en béton offrent de nombreux avantages sont :

- ✓ Longévité (une durée de vie plus importante)
- ✓ Résistance latérale de la voie importante.
- ✓ Le coute moins cher que les autres traverses.
- ✓ Leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast .

Inconvénients :

- ✓ Risque de corrosion des traverses bi-bloc au niveau des entretoises.
- ✓ Fragilité aux chocs du béton.
- ✓ Tenue du nivellement plus délicate dans le cas de plateformes médiocres.

Il existe deux types :

•la traverse monobloc en béton précontraint.

•la traverse mixte bi-bloc constituée par deux blocs en béton armé reliés par une entretoise métallique, elles sont les plus employées actuellement.



Figure V.12: traverse bi-bloc en béton armé

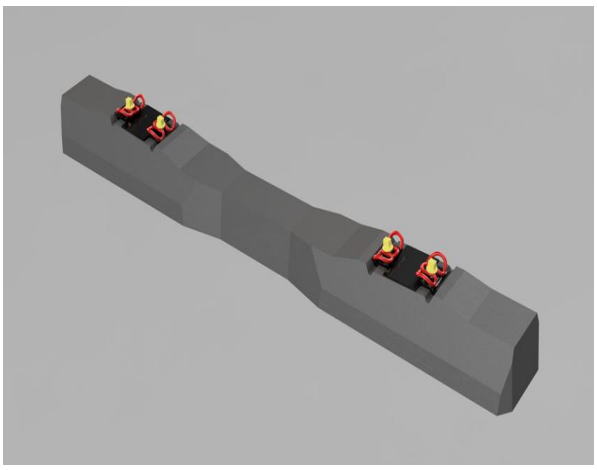


Figure V.13: traverse monobloc en béton précontrainte

La SNTF utilise principalement la traverse mixte. La longueur de cette traverse est de 2,24 m et son poids est de 190kg.

- **Pour notre projet Le type de traverse utilisé est :**
  - ✓ Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare.
  - ✓ Traverses en bois pour les appareils de voie.
  - ✓ Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.

V.2.3. Les attaches

Les attaches sont des outils de fixation, elles permettent la fixation du rail à la traverse pour empêcher tout déplacement, il existe plusieurs types d'attaches.

❖ **Les types d'attaches**

Elles dépendent du type de la traverse utilisée :

✓Fixation pour les traverses en bois.

✓Fixation pour les traverses en béton.

Les attaches généralement rencontrées dans les traverses en béton sont :

- **L'attache Nabla**

La plus utilisée actuellement est constituée par un crapaud (lame-ressort) maintenu par un écrou (tirefond) vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet.

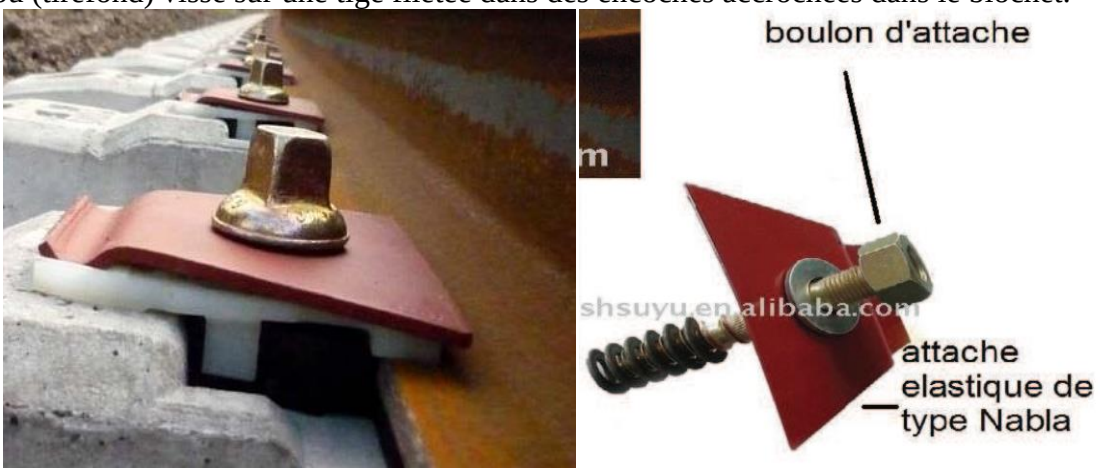


Figure V.14: L'attache Nabla

- **L'attache Pandrol E-clip**



Figure V.15: L'attache Pandrol E-clip

- **Le crapaud élastique RN**

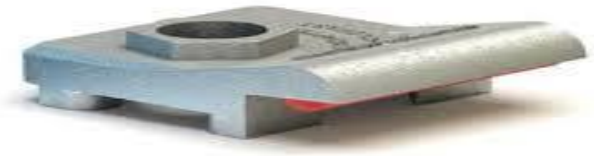


Figure V.16: Le crapaud élastique RN

- Les attaches utilisées dans le projet sont de type **NABLA.**

V.2.4. Les semelles

Les semelles sous rail sont posées directement sous le patin de rail et dessus de traverse. Elles assurent une meilleure répartition des charges à la traverse, un effort vertical de serrage du rail sur la traverse le plus constant possible la stabilité de rail et joue le rôle d'un amortisseur ce qui le confort des passagers. Elles sont en général en élastomère de petite taille environ 9 mm d'épaisseur.



Figure V.17: Les semelles

V.3. L'écartement des rails

L'écartement des rails est la distance séparant le flanc interne des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement de 1435 mm (est le plus utilisé dans le monde (60 % des lignes). C'est l'écartement standard ou international qui caractérise la " voie normale ".

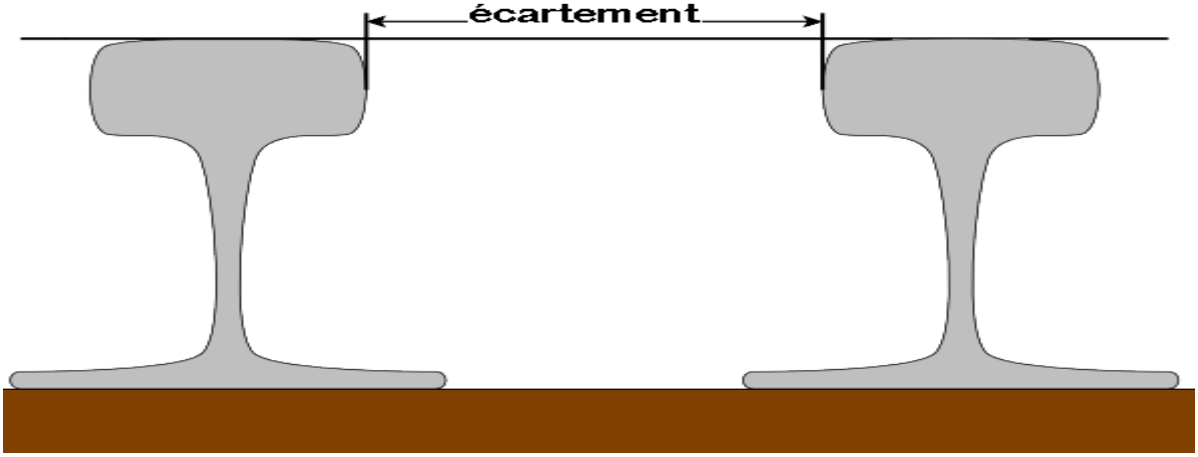


Figure V.18: L'écartement des rails

CHAPITRE VI :

TRACE EN PLAN

VI .1. INTRODUCTION

Le tracé en plan ferroviaire est la projection verticale de l'axe de la voie ferrée sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif. Ces éléments sont :

- alignements droits.
- courbes circulaires.
- courbes de raccordement.

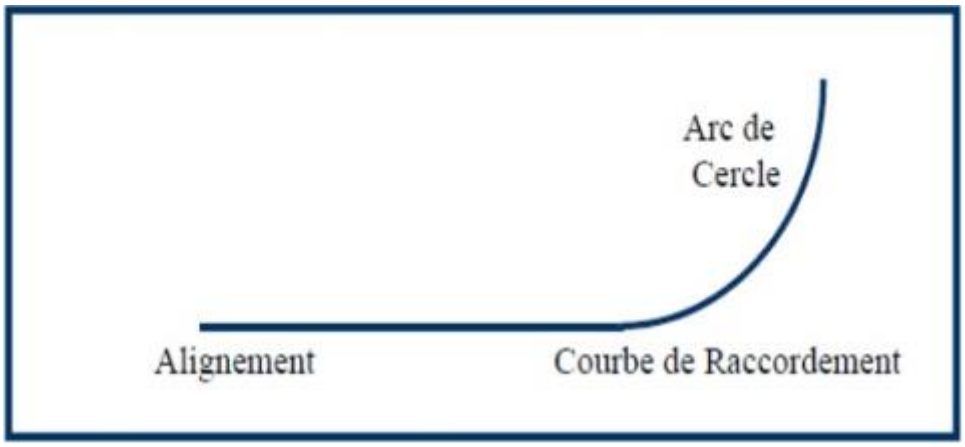


Figure VI .1: Eléments géométriques du tracé en plan

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

✓ Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs).

✓ Vl : vitesse des trains lents (marchandises).

VI .2. LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN

VI .2.1. L'alignement droit

C'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs. il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique.

VI .2. 2. Les Arcs de cercle

Généralement, la topographie ne permet pas de réaliser les alignements dans toute la zone. On a recourt au raccordement circulaire ou le rayon sera le plus grand possible et sa valeur est en fonction de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence Vr de ne pas dérailler.

VI .2. 3. La courbe de raccordement

Le fait que le tracé soit constitué d'alignement et d'arc ne suffit pas, il faut donc prévoir des raccordements à courbure progressif, qui permettent d'éviter la variation brusque de la courbe lors du passage d'un alignement à un cercle ou entre deux courbes circulaires. la courbe de raccordement est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R= ∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. Il y a plusieurs types des courbes de raccordement mais le plus utilisable est la Clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure :

- La stabilité et le confort.
- Elle présente en plus un aspect esthétique satisfaisant.

VI .3. CONDITIONS ET REGLES A RESPECTER POUR LE TRACE (SNTF)

Se raccordé au réseau déjà existant.

- Utiliser le maximum d'alignements droits
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Éviter le franchissement des Oueds dans la mesure du possible pour éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les terrains très plastiques
- Eviter les problèmes de talus qui sont comme suit :

  Talus en déblai :
  - ✓ Présence de nappe.
  - ✓ Terrains plastiques.
  - ✓ Présence des roches fissurées

  Talus en remblai :
  - ✓ Présence de terrain instable.
  - ✓ Sol très compressible.

VI .4. PARAMETRES DE CONCEPTION

Les paramètres suivants jouent un rôle important en matière de confort et de coût de maintenance :

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

VI .5. PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :

VI .5.1. Dévers

Le dévers est la valeur de la pente transversale d'un rail. Le dévers a pour but de s'opposer aux déraillements des trains dus à la force centrifuge exercée sur les trains qui se déplacent sur une courbe.

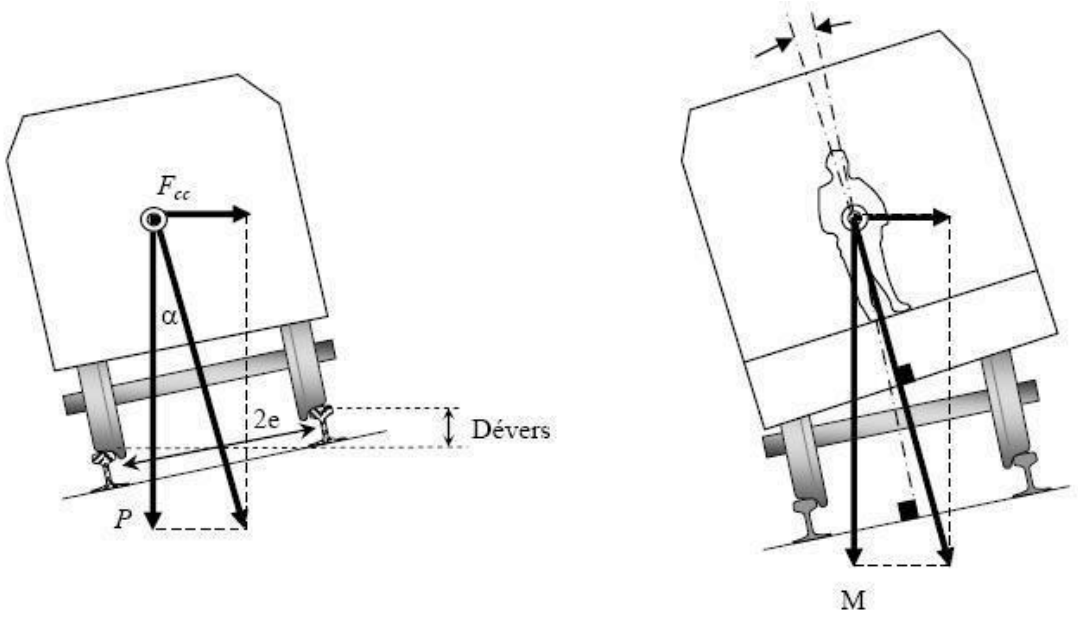


figure 2 : Définition du Dévers

VI .5.1.1. Dévers théorique

Pour une vitesse **V** en (km/h) du train et un rayon R en (m) on établit le dévers Nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.
Le devers théorique appelé également « dévers d'équilibre » noté « dth » ou« dv» en (mm) est donné par :

$$\mathbf{d_{th}} = \frac{11.8 \times Vr^2}{R}$$

VI .5.1.2. Dévers pratique (normal)

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret, ce dévers est appelé **dévers pratique.**

Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents,
elle est donnée par :

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

Ou C : est un coefficient du dévers.

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

$0.5<C/(0.0118V^2)\leq 0.7$

On peut calculer le coefficient de dévers par la méthode de SNCF (Manuel SNCF)
Cette méthode est valable pour les voies < 220 Km/h.

$C = 0.006\times V^2$

Avec V : vitesse du train de voyageur.

Les valeurs limites du devers pratique sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .1 : Valeurs limites du dévers

Valeur limite normale (mm)	**160**
Valeur limite exceptionnelle (mm)	**180**

VI .5.1.3. Insuffisance de devers (I)

Lorsque la vitesse d'un véhicule dans t une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. L'insuffisance de dévers noté « I » est l'écart entre le dévers théoriquement nécessaire « dth » pour compenser la force centrifuge et le dévers pratique « d_p ».

$$I = d_{th} - d_{p=}\frac{11.8\times \mathrm{Vr}^2}{R} - d_p$$

Vr : vitesse de train rapide

Pour limiter ces effets, on adopte une valeur limite pour l'insuffisance de dévers (pour les trains les plus rapides). Ces limites sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau VI .2 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers

Types de trains	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Train le plus rapide	150 mm	160 mm

VI .5.1.4. Variation de l'insuffisance de devers dans les courbes de raccordement $\frac{\Delta I}{\Delta t}$

Pour les éléments de transition avec variations uniformes de la courbure et du dévers, la relation suivante a été établie : (I étant l'insuffisance de dévers en pleine courbe).

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

ΔI exprimé en (mm) ; Δt exprimé en (s) ; ΔL exprimé en (m) ; Vr exprimé en (km/h).

Les valeurs limites de la variation de l'insuffisance de dévers sont :

Tableau VI .3 : valeurs de l'insuffisance de dévers

Valeur	Normal	Exceptionnels
$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ **(mm/s)**	**75**	**90**

VI .5.1.5. Excès de dévers (E)

On appelle **excès de dévers** (exprimé en mm) la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique, tirées de la norme SNCF.

$$E = dp - dth = dp - \frac{11.8 \times \mathrm{Vm}^2}{R}$$

v_m : vitesse de trains de marchandises

Tableau VI .4 : Les valeurs d'excès de dévers (E). (SNTF)

Valeur maximale normale	**110 mm**
Valeur maximale exceptionnelle	**130 mm**

VI .5.1.6. Variation de dévers

•Variation en fonction de temps ($\frac{\Delta d}{\Delta t}$)

Taux exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps.la formule qui nous donne cette variation est :

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

Tableau VI .5 : Valeurs de variation de dévers en fonction de temps

Valeur	**Normal**	**Exceptionnels**
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$ **(mm/s)**	**50**	**60**

• Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de constat des quatre roues ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste.

Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport **dp/L** appelé « gauche» exprime cette variation en (**mm/m**). La variation de dévers noté $\frac{\Delta d}{\Delta L}$**.**

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

Tableau VI .6 : Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur

Valeurs Limite	**Variation de dévers en (mm/m)**
Normale	180/V
Exceptionnelle	216/V

VI .5.1.7. Longueur de raccordement de devers

C'est la longueur de clothoïde qui permet un raccordement convenable du dévers.La longueur de se raccordement est calculée comme suit :

$$L \geq \frac{dp \times v}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} \quad \text{.....(1)}$$

$$L \geq \frac{I \times v}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}} \text{.....(2)}$$

Donc Lmin est la plus grande valeur de (1) et (2)

✓L en (m).

✓$\frac{\Delta d}{\Delta t}$ Variation de dévers en mm/s

✓ $\frac{\Delta l}{\Delta t}$Variation de l'insuffisance de dévers en mm/s

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres dans Tableau VI .7 (la vitesse V est exprimée en km/h)

Tableau VI .7 : Les longueurs minimales

Valeur limite normale	**V/2**
Valeur limite exceptionnelle	**V/3**

Limites admissibles pour les circulations voyageurs sur lignes classiques :

Tableau VI .8 : les valeurs de différents devers en fonction de la vitesse et catégorie

Vitesses (km/h)		V ≤ 160		160 < V ≤ 200		200 < V ≤ 220
Type de circulation		Catégorie II	Catégorie III	Catégorie II	Catégorie III	TGV
Dévers (mm)	recommandé	160	160	160	160	160
	exceptionnel.	180	180	180	180	180
Insuffisance de dévers (mm)	recommandé	150	160	150	160	160
	exceptionnel.	160	180			
ΔI/Δt (mm/s)	recommandé	75	75	75	75	65
	exceptionnel.	90	90	90	90	75
ΔD/ΔL (mm/m)	recommandé	180/V	180/V	180/V	180/V	180/V
	exceptionnel.	216/V	216/V	216/V	216/V	216/V

VI .5.2. Le Rayon minimal

Le rayon minimal autorisé est calculé suivant la formule suivant selon la norme SNCF :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_r^2}{d_{Rmin} + I_{max}}$$

Avec

dR_{min} : dévers pour le rayon minimal (mm)

$$d_{Rmin} = \frac{V_r^2 \times E_{max} + V_l^2 \times I_{max}}{V_r^2 - V_l^2} \leq 160mm$$

V_r : vitesse maximale des trains voyageurs (Km /h).
V_l : vitesse des trains de marchandise (Km/h).
E_{max} : valeur admissible de l'excès dévers (mm).
I_{max} : valeur admissible d'insuffisance de devers(mm).
R_{min} : rayon minimum pour la vitesse maximale(m).

Le paramètre de clothoïde est calculé selon l'équation suivante :

$$A=\sqrt{R \times L}$$

VI .6. APPLICATION AU PROJET

D'après les données de la *SETI-RAIL*

Tableau VI .9 : les données de la *SETI-RAIL*

Vitesse des trains rapides	**VR = 160 km/h.**
Vitesse des trains lents	**VL = 100 km/h.**
Dévers d_{max} (mm)	**dmax= 160 mm**
Insuffisance de dévers max I_{max} (mm)	**150**
Excès de dévers max E_{max} (mm)	**110**
dI/dt (la variation de l'insuffisance de dévers) (mm/s)	**75**
dd/dt (la variation du dévers) (mm/s)	**50**
dd/dl (variation de dévers en fonction de la longueur) (mm/m)	**180/v=1.125**

•**Calcul le rayon minimal**

$$\mathbf{R_{min}} = \frac{\mathbf{11.8 \times V_r^2}}{\mathbf{d_{Rmin} + I_{max}}}$$

Avec :

$$d_{Rmin} = \frac{V_r^2 \times E_{max} + V_l^2 \times I_{max}}{V_r^2 - V_l^2}$$

AN: $d_{Rmin} = \frac{160^2 \times 110 + 100^2 \times 150}{160^2 - 100^2} = 276.67 > 160$

Donc en prend d_{Rmin}=160mm

Donc $R_{min} = \frac{11.8 \times 160^2}{160 + 150} = 974.45$

Donc **$R_{min} \approx$ 975m.**

Exceptionnellement **R=800m** a l'entrée de la gare de **Tissemsilt** pour des raisons Topographique.

Alors : le coefficient de dévers est :

$C = 0.006 \times V^2$

(Multiple de 15 le plus proche et vérifie $0.5 < C/(0.0118V^2) \leq 0.7$).

- **Pour R=800m** (Exceptionnellement a l'entrée de la gare de Tissemsilt**)**

VR = 120 km/h

VL = 80 km/h

le coefficient de dévers est:

$C = 0.006 \times V^2 = 0.006 \times 120^2 = 86.4$

Donc on prend **C=90**

$0.5 < C/(0.0118V^2 = 90/0.0118 \times 120^2 = 0.53) \leq 0.7$

- **Calcul de dévers théorique dth**

$\mathbf{d_{th}} = \frac{11.8 \times Vr^2}{R} = \frac{11.8 \times 120^2}{800} = 212.4$

- **Calcul de dévers pratique dp**

dp=1000×$\frac{C}{R} = 1000 \times \frac{90}{800} = \mathbf{112.5}$

donc on prend **d_p=113** < 160 vérifié

- **Calcul de l'insuffisance de dévers I :**

$$I = d_{th} - d_{p=} \frac{11.8 \times Vr^2}{R} - d_p$$

AN: $I = d_{th} - d_{p=} \frac{11.8 \times 120^2}{2000} - 113$=**99.4mm<150mm**

- **Calcul d'excès de dévers E**

D'abord on calcule le dévers théorique des trains lent (V_L=80 km/h) :

$$E = dp - d_{th} = dp - \frac{11.8 \times Vm^2}{R}$$

AN : E = 113- $\frac{11.8 \times 80^2}{800} = 18.6$mm<110mm

- **Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde**

$\mathbf{L} \geq \frac{V \times dp}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} = \frac{120 \times 113}{3.6 \times 50} = \mathbf{75.3}$

$\mathbf{L} \geq \frac{V \times I}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}} = \frac{120 \times 99.9}{3.6 \times 75} = \mathbf{44.17}$

donc en prend L=90 m

$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{800 \times 90}$ =268.33

Donc **A=268.33**

- **Variation de dévers $\frac{\Delta d}{\Delta t}$**

$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times Vmax}{3.6 \times L} = \frac{113 \times 120}{3.6 \times 90} = 41.8 mm/s < 50\ mm/s$ donc vérifié.

- **Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$**

$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{3.6}{Vmax} \times \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{3.6}{120} \times 41.8 = 1.254\ mm/m\ < 1.5 mm/m$

- **Variation de l'insuffisance de dévers $\frac{\Delta I}{\Delta t}$:**

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times Vmax}{3.6 \times L} = \frac{99.4 \times 120}{3.6 \times 90} = 36.8 mm/s < 75 mm/s$ donc vérifié

- **Pour R=2000m :**

VR = 160 km/h

VL = 100 km/h

C = 0.006×V^2=0.006×160 ^{2}=153.6

Donc on prend C=165

0.5<C/(0.0118V^2=165/0.0118×160 ^{2}=0.546) ≤ 0.7

- **Calcul de dévers théorique dth**

$\mathbf{d_{th}}=\frac{11.8\times Vr^2}{R}=\frac{11.8\times 160^{\,2}}{2000}$=151.04

- **Calcul de dévers pratique dp**

dp=1000×$\frac{C}{R}=1000\times\frac{165}{2000}=\mathbf{82.5}$

donc on prend $\mathbf{d_p=83}<160$ vérifié

- **Calcul de l'insuffisance de dévers I**

$$I = d_{th} - d_{p=}\frac{11.8\times Vr^{\,2}}{R} - d_p$$

AN : $I = d_{th} - d_{p=}\frac{11.8\times 160^{\,2}}{2000} - 83$=**68.04mm<150mm**

- **Calcul d'excès de dévers E**
  D'abord on calcule le dévers théorique des trains lent (V_L=100 km/h) :

$$E = dp - dth = dp - \frac{11.8\times Vm^2}{R}$$

AN: E = 83- $\frac{11.8\times 100^2}{2000}$ = 24mm < 110mm

- **Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde**

$\mathbf{L\geq\frac{V\times dp}{3.6\times\frac{\Delta d}{\Delta t}}=\frac{160\times 83}{3.6\times 50}=73.7}$

$\mathbf{L\geq\frac{V\times I}{3.6\times\frac{\Delta I}{\Delta t}}=\frac{160\times 68.04}{3.6\times 75}=40.32}$

donc en prend **L=80 m**

$A=\sqrt{R\times L}=\sqrt{2000\times 80}$ =400

Donc **A=400**

- **Variation de dévers $\frac{\Delta d}{\Delta t}$**

$\frac{\Delta d}{\Delta t}=\frac{dp \times Vmax}{3.6 \times L}=\frac{83 \times 160}{3.6 \times 80}=46.1 mm/s < 50\ mm/s$ donc vérifié.

- **Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$**

$\frac{\Delta d}{\Delta L}=\frac{3.6}{Vmax} \times \frac{\Delta d}{\Delta t}=\frac{3.6}{160} \times 45.83 = 1.03\ mm/m$

- **Variation de l'insuffisance de dévers $\frac{\Delta I}{\Delta t}$**

$\frac{\Delta I}{\Delta t}=\frac{I \times Vmax}{3.6 \times L}=\frac{68 \times 160}{3.6 \times 80}=37.7 mm/s < 75 mm/s$ donc vérifié

Calcul les différents paramètres pour chaque rayon :

Tableau VI .10 : les différents paramètres pour chaque rayon

R(m)	dth(voyageurs)	dth(marchandises)	dp	I	E	$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	$\frac{\Delta d}{\Delta L}$	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$
800	212.4	94.4	113	99	19	44	1.2	37
1500	201.39	78.67	110	91	31	49	1.1	41
1500	201.39	78.67	110	91	31	49	1.1	41
1500	201.39	78.67	110	91	31	49	1.1	41
2000	151.04	59	83	68	24	46	1.0	38
1500	201.39	78.67	110	91	31	49	1.1	41
3000	100.693	39.3	55	46	16	31	0.7	25
2000	151.04	59	83	68	24	46	1.0	38
2000	151.04	59	83	68	24	46	1.0	38

R(m)	$L \geq \frac{V \times dp}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$	$L \geq \frac{V \times I}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}}$	Lmax	A
800	75.3	44.17	90	268.33
1500	97.78	54.16	100	387.298
1500	97.78	54.16	100	387.298
1500	97.78	54.16	100	387.298
2000	73.7	40.32	80	400
1500	97.78	54.16	100	387.298
3000	48.8	27.07	80	489.897
2000	73.7	40.32	80	400
2000	73.7	40.32	80	400

CHAPITRE VII :

CALCUL DE L'AXE EN PLAN

VII.1. INTRODUCTION

Le calcul de l'axe en plan consiste en des calculs d'axe point par point dès le début jusqu'à la fin de la section. En exprimant ses coordonnées ou sa direction dans un repère fixe. Le calcul est effectué à partir d'un point fixe avec des coordonnées connues jusqu'au deuxième point (point final).

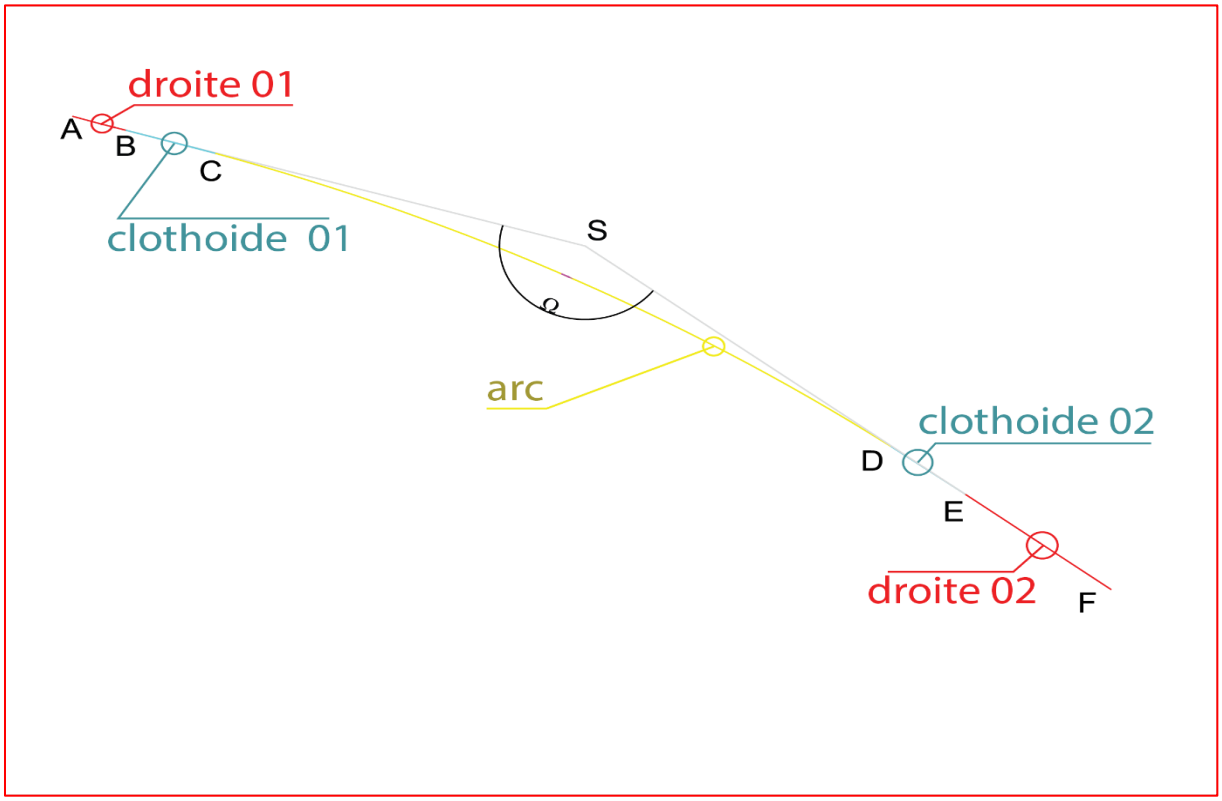


Figure VII.1: Elément de clothoïde

VII.2. APPLICATION AU PROJET

❖ **Exemple de calcul pour l'arc 08 (R=2000m):**

Tableau VII.1: listing de tracé en plan pour l'arc 08

Elem	Caractéristique	Longueur	Abscisse	X	Y
			14350.75	**403885.8557**	**3936585.6288**
DR29	ANG=109.2067 (g)	671.769			
			15022.52	404550.6120	3936488.8164
CLO30	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			15102.52	404629.6969	3936476.7599
ARC31	XC=404301.9436				

	YC=3934503.7982				
	R=2000.000	1131.528			
			16234.05	405636.2541	3935993.6356
CLO32	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			16314.05	405695.1296	3935939.4743
DR33	ANG=147.7709 (g)	1469.834			
			17783.88	406770.2063	3934937.1666

Tableau VII.2: Exemple de calcul pour l'arc 08

R=2000m		
Point	X	Y
A	403885.8557	3936585.6288
B	404550,6120	3936488,8164
E	405695,1296	3935939,4743
F	406770,2063	3934937,1666

- **Calcul des gisements**

$\Delta Y_{AB} < 0$ et $\Delta X_{AB} > 0$

$G_{AB} = 100 + \text{arctg}\frac{|Y_B - Y_A|}{|X_B - X_A|} = 100 + \text{arctg}\frac{|3936488{,}8164 - 3936585.6288|}{|404550{,}6120 - 403885.8557|} = 109{,}2067$ gr

$\Delta Y_{EF} < 0$ et $\Delta X_{EF} > 0$

$G_{EF} = 100 + \text{arctg}\frac{|Y_F - Y_E|}{|X_F - X_E|} = 100 + \text{arctg}\frac{|3934937{,}1666 - 3935939{,}4743|}{|406770{,}2063 - 405695{,}1296|} = 147{,}7709$ gr

$\Omega = 200 + G_{AB} - G_{EF} = 200 + 109{,}2067 - 147{,}7709 = 161{,}4358$ gr

$\alpha = 200 - \Omega = 200 - 161{,}4359 = 38{,}5642$ gr

$\Delta Y_{AF} < 0$ et $\Delta X_{AF} > 0$

$G_{AF} = 100 + \text{arctg}\frac{|Y_F - Y_A|}{|X_F - X_A|} = 100 + \text{arctg}\frac{|3934937{,}1666 - 3936585.6288|}{|406770{,}2063 - 403885.8557|} = 133{,}0542$ gr

Distance AF = $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 3322{,}1839$ m

$\beta = G_{AF} - G_{AB} = 133{,}0542 - 109{,}2067 = 23{,}8475$ gr

- **Calcul des coordonnées de S (intersection des tangentes)**

$$\frac{AF}{\sin \boldsymbol{\Omega}} = \frac{AS}{\sin \Delta}$$

$\Delta = 200 - \Omega - \beta = 200 - 161{,}4359 - 23{,}8475 = 14{,}7167$ gr

$AS = AF \frac{\sin \Delta}{\sin \boldsymbol{\Omega}} = 3322{,}1839 \times \frac{\sin(14{,}7166)}{\sin(161{,}4359)} = 1336{,}8057$ m

$X_S = X_A + AS \times \cos(100 - 109{,}2067)$

$= 403885{,}8557 + 1336{,}8057 \cos(100 - 109{,}2067)$

$= 405208{,}7064$ m

$Y_S = Y_A + AS \times \sin(100 - 109{,}2067)$

$= 3936615{,}3578 + 1336{,}8057 \sin(100 - 109{,}2067)$

$= 3936392{,}9751$ m

- **Coordonnées de B début de clothoïde 01**
  - **Calcul de tangent t**

$t = XM + (R + \Delta R) \times \tan(\frac{\alpha}{2})$

$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{80^2}{24 \times 2000} = 0.1333$m ΔR : le Ripage.

$XM = \frac{L}{2} = \frac{80}{2} = 40$m Xm : Abscisse du centre de cercle.

$T = 40 + (2000 + 0.1333) \times \tan(\mathbf{38{,}5642/2}) = 665{,}0365$m

$X_B = X_S - T \times \sin(G_{AB})$

$= 405208{,}7064 - 665{,}0365 \times \sin(109{,}2067) = 404550{,}6122$ m

$Y_B = Y_S - T \times \cos(G_{AB})$

$= 3936392{,}9751 - 665{,}0365 \times \cos(109{,}2067) = 3936488{,}8167$ m

  - **Coordonnées de M centre de l'arc**

On calcul d'abord les coordonnées du point m

$X_m = X_B + Bm \times \cos(100 - G_{AB})$

$= 404550{,}6122 + 40 \cos(100 - 109{,}2067) = 404590{,}1946$ m

$Y_m = Y_B + Bm \times \sin(100 - G_{AB})$

$= 3936488{,}8167 + 40 \sin(100\text{-}109{,}2067) = 3936483{,}0521$ m

  - **Ensuite on calcul les coordonnées pour M**

$X_M = X_m + (R + \Delta R) \sin G_{mM}$

$= 404590,1946 + (2000 + 0.1333) \sin (100 - 109,2067) = 404301,9455$ m

$Y_M = Y_m - (R + \Delta R) \cos G_{mM}$

$= 3936483,0521 - (2000 + 0.1333) \cos (100 - 109,2067) = 3934503,7983$ m

- **Coordonnées de C fin de clothoïde 01**

$X_C = X_M + R \sin G_{MC} = X_M + R \sin (109,2067 - 100 + \tau)$

$= 404301,9455 + 2000 \sin (9,2067 + 1,2732) = 404629.6963$ m

$Y_C = Y_M + R \cos G_{MC} = Y_M + R \cos (9,2067 + \tau)$

$= 3934503,7983 + 2000 \cos (9,2067 + 1,2732) = 3936476.7604$ m

$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{80}{2 \times 2000} = 1,2732$ gr

$X_C = 404629,6963$ m et $Y_C = 3936476,7604$ m

- **Coordonnées de D début de clothoïde 02**

$X_D = X_M + R \sin G_{MD} = 404301,9455 + 2000 \times \cos (53,5023) = 405636.2572$ m

$Y_D = Y_M + R \cos G_{MD} = 3934503,7983 + 2000 \times \sin (53,5023) = 3935993.6346$ m

$G_{MD} = 100 - G_{EF} - \tau = 200 - 147,7709 + 1,2732 = 53,5023$ gr

Donc $X_D = 405636.2572$ m et $Y_D = 3935993.6346$ m

- **Coordonnées de E fin de clothoïde 2**

$X_E = X_S + T \times \sin G_{SE} = 405208,7064 - 665,0365 \times \cos (152,2291)$

$= 405695.1323$ m

$Y_E = Y_S - T \times \cos G_{SE} = 3936392,9751 - 665,0365 \times \sin (152,2291)$

$= 3935939.4738$m

$G_{SE} = 300 - G_{EF} = 200 - 147,7709 = 52,2291$ gr

$X_E = 405695,1323$ m ; $Y_E = 3935939,4738$ m

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

$ARC8 = \frac{\pi \times R \times (\alpha - 2t)}{200} = \frac{\pi \times 2000 \times (38.5642 - 2 \times 1.2732)}{200} = 1131.53$m

- **Vérification de non chevauchement**

τ=1.27 gr et $\frac{\alpha}{2}$ =19.2821 gr

Donc $\tau < \frac{\alpha}{2}$ Donc il n'y a pas de chevauchement.

VII.3. CONCLUSION

- On remarque que les résultats obtenus dans notre calcul manuel sont les mêmes que les résultats du listing de tracé en plan dans Tableau VII.1**.**
- Le calcul automatique est fait à l'aide du logiciel civil 3d.

CHAPITRE VIII :
PROFIL EN LONG

VIII.1. DEFINITION

Le profil en long est l'un des trois éléments principaux qui caractérisent la géométrie d'une voie, il représente une coupe longitudinale dont on projet l'élévation de l'axe en fonction de l'abscisse curviligne.

Dans la voie ferrée, le profil en long représente la projection de la file supérieure du rail sur le plan du terrain naturel, il se constitue des pentes et rampes uniforme relié entre elles par des courbes circulaires.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- Les points kilométriques PK et distances cumulées.
- La côte du point P.
- La côte du terrain naturel TN
- La valeur du remblai ou déblai.
- Les éléments du tracé en plan.
- Pentes, Rampes et courbes verticales.
- Les ouvrages d'art et les ouvrages hydraulique.
- La position des appareils de voie des voies de raccordement, gares.

VIII.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DE PROFIL EN LONG

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

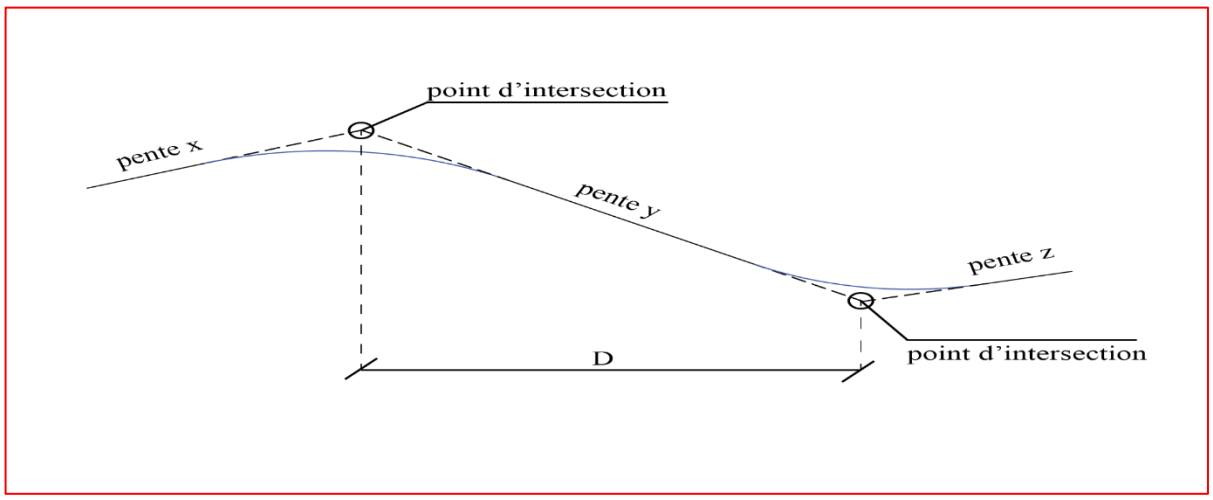


Figure VIII.1 : Eléments géométriques du profil en long.

VIII.3. DECLIVITE MAXIMALE

La déclivité est la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle présente des problématiques dans le freinage et le démarrage donc il est nécessaire de déterminer des valeurs limites pour les pentes et les rampes sachant que la déclivité admise varie en fonction de sa longueur selon la norme SNTF qui stipule :

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

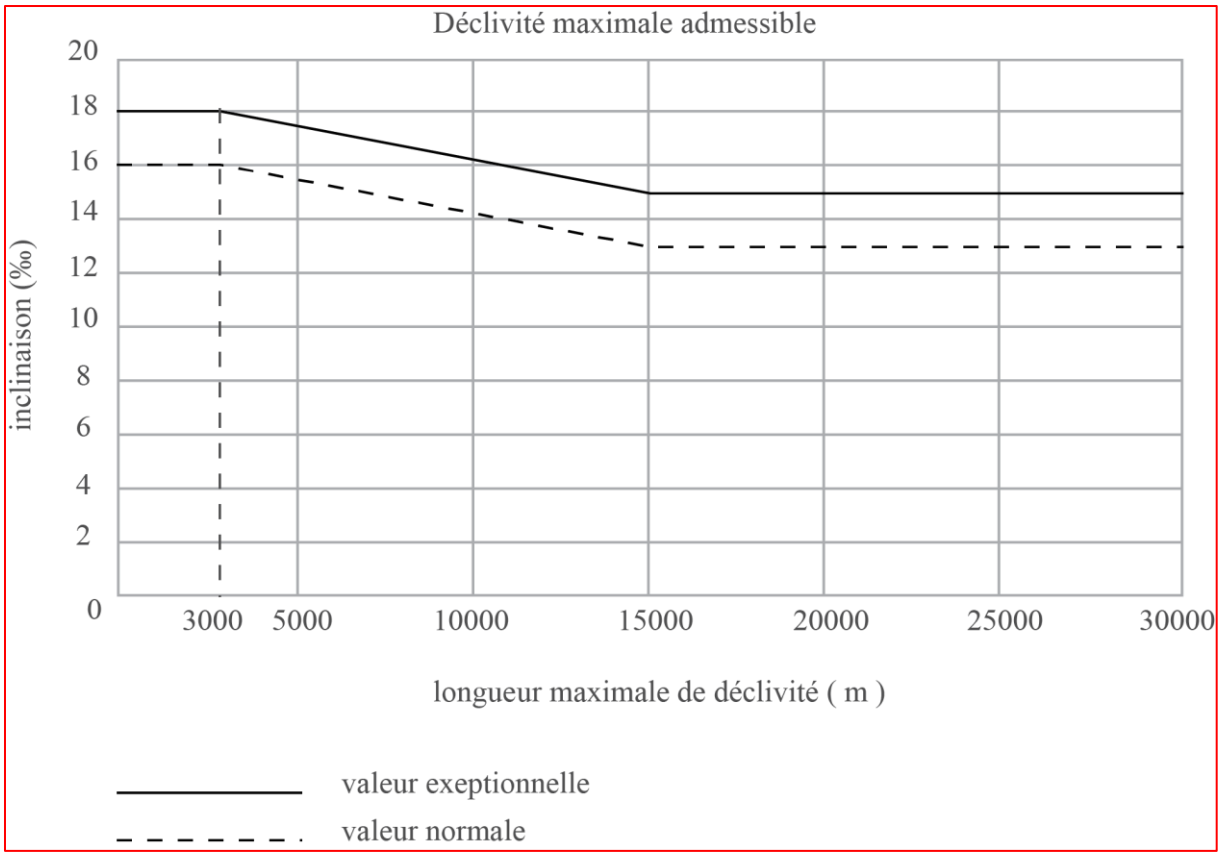


Figure VIII.2 : Déclivité maximale admissible.

VIII.4. LA LONGUEUR MINIMALE DES DECLIVITES

Elle s'agit d'une longueur fixée pour éviter l'oscillation dues aux variations successives des déclivités.

Selon le référentiel technique de la SNTF la longueur minimale des déclivités en profil de projet est dans le tableau suivant avec

Du pk 0+000 au pk 2+612 V=120 km /h.

Du pk 2+612 au pk 20+539 V= 160 km /h.

Tableau VIII.1 : La longueur minimale pour v=120 km/h.

V = 120 km / h	
Valeur minimale normale	V/2 = 60 m
Valeur minimale exceptionnelle	V/2,5= 48 m

Tableau VIII.2 : La longueur minimale pour v=160 km/h.

V = 160 km / h	
Valeur minimale normale	V/2 = 80 m
Valeur minimale exceptionnelle	V/2,5= 64 m

VIII.5. RAYON ADMISSIBLE EN PROFIL EN LONG

Pour le raccordement vertical entre les pentes du profil en long une valeur minimale admissible est fixée afin de tenir en compte les considérations suivantes :

- Dans ce type de raccordement on utilise seulement les raccordements circulaires ce qui va engendre des accélérations brutales aux extrémités des arcs qui engendrent des oscillations de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- Dans tout virage une force est appliquée sur les véhicules et même le cas pour les raccordements verticaux, cette force est due à l'accélération de centrifuge qui dépend de la vitesse et le rayon a franchi : $a_v = \frac{{V_{max}}^2}{R_V}$

  On voit bien que lorsqu'on augmente le rayon vertical l'accélération de centrifuge va diminuer donc afin de délimiter cette accélération pour assurer le confort des passagers une valeur minimale est fixé alors un rayon minimum est adopté Selon le référentiel technique de la SNTF telle que :

Tableau VIII.3 : Le rayon admissible pour v=120 km/h.

V = 120 km / h	
Valeur limite normale	0,35 ×V² = 5040 m
Valeur limite exceptionnelle	0,25 ×V² = 3600 m
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	0,15 × V² = 2160 m

Tableau VIII.4 : Le rayon admissible pour v=160 km/h.

V = 160 km / h	
Valeur limite normale	0,35 ×V² = 8960 m
Valeur limite exceptionnelle	0,25 ×V² = 6400 m

Donc on admet 9000 m comme le rayon minimum de raccordement pour le profil en long.

❖ **Remarque**

Au point de changement de pente lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰ (peut être portée à 4 ‰ quand V⩽ 60km/h) on ne fait pas le raccordement circulaire. (Norme IN 0272-SNCF)

VIII.6. REGLE A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL

Pour faire un bon tracé de projet on doit tenir en compte plusieurs conditions :

- Assurer la distance entre deux points de changement de déclivité (Distance minimale).
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie ferrée du paysage.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- Respecter les pentes nulles dans les gares, zones neutres.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

VIII.7. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN

Afin de garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan (Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants).
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.

VIII.8. PARAMETRES CINETIQUE DU PROFIL EN LONG

Les valeurs standards des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues à 160 km/h selon le référentiel technique de la SNTF sont résumées dans le Tableau VIII.5:

Tableau VIII.5 : Paramètres cinétiques du profil en long

V = 160 km / h	Valeur normale	Valeur exceptionnelle
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	8960	640
Longueurs minimales des pentes/rampes (m)	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie (‰)	16	18
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement (‰)	0	-

VIII.9. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est :

$x^2 + (y - R)^2 = R^2$ ou encore de la forme : $x^2 + y^2 - 2Ry = 0$.

Mais pour un grand rayon ($R \geq 4000m$) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsqu'il s'agit d'un carré ($y2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole : $y = \frac{x^2}{2R}$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

- B et C : Extrémités du raccordement.
- T : Tangente de part et d'autre du sommet.
- G : Milieu de raccordement situé sur la variante.
- A et D : deux points connus sur P1 et P2.
- F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).
- X : Distance entre le sommet et un point A surP1.
- (α + β) : angle de variation, ou de changement de direction.
- O : Centre du cercle de rayon R.
- E : Sommet ou point de changement de déclivité.
- L : Distance entre les deux points A et D.

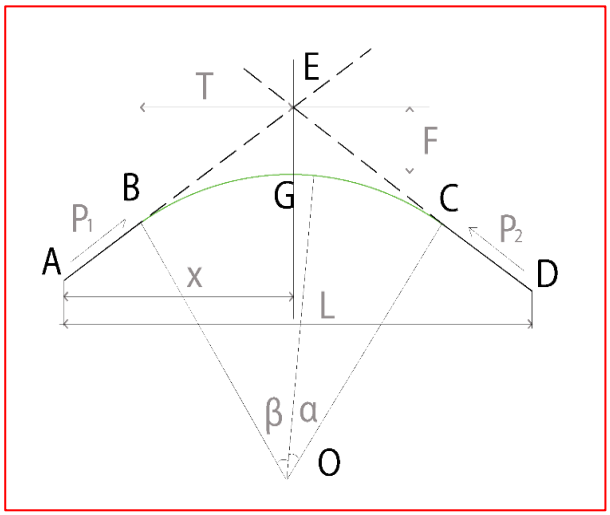


Figure VIII.3 : les éléments d'un raccordement en Profil en long

Pour l'exemple de calcul on prend les coordonnées des points de profil en long de Tableau VIII.6 :

Tableau VIII.6 : les cordonnées des points de profil en long l'exemplaire

Point	Abscisse (P)	Z (m)	Rayon (m)
A	0	868.849	17000
D	1389.12	873,717	
E	415.68	868.849	

Calcul des pentes :

$P_1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{868.849-868.849}{415.68-0} = 0 = 0\ ‰$

$P_2 = \frac{\Delta Z2}{\Delta S2} = \frac{873.717-868.849}{1389.12-415.68} = 0.005 = 5\ ‰$

Calcul de la tangente T

$T = \frac{R}{2} \times |P_2 + P_1| = \frac{17000}{2} \times |0 + 0{,}005| = 42{,}5\ m$

Calcul de la flèche F

$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{42{,}5^2}{2\times17000} = 0{,}053\ m$

Coordonnées de G milieu de raccordement

$Z_G = Z_E - F = 868.849 - 0{,}05 = 868.796$ m

$P_G = P_E = 415.68$ m

Coordonnées de B début de raccordement

$Z_B = Z_E - (P_1 \times T) = 868.849 - (0 \times 42{,}5) = 868{,}849$ m

$P_B = P_E - T = 415.68 - 42{,}5 = 373{,}18$ m

Coordonnées de C fin de raccordement

$Z_C = Z_E + (P_2 \times T) = 868.849 + (0{,}005 \times 40) = 869.061$ m

$P_C = P_E + T = 415.68 + 42{,}5 = 458{,}18$ m

CHAPITRE IX :

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

IX.1. L'ETUDE GEOLOGIQUE

IX.1.1. INTRODUCTION

L'étude géologique est nécessaire dans toute étude pour choix un bon tracé, à détecter ses points critiques, et à bien connaître la nature du terrain qui servira d'assise de notre projet, afin d'éviter ou du moins limiter d'éventuels problèmes pouvant se poser en phase de réalisation ou après.

IX.1.2. LA GEOLOGIE DE L'ALGERIE

Le pays comprend quatre grands domaines du nord au sud :

- L'Atlas tellien est formé d'une chaîne de montagnes longeant le littoral et s'étirant sur environ 1 500 kilomètres. Son point culminant est le mont Lalla Khadîdja, qui s'élève à 2 308 mètres d'altitude dans le massif du Djurdjura.

- Les Hauts Plateaux.

- L'Atlas saharien est la partie méridionale du massif de l'Atlas. Il est principalement situé en Algérie mais s'étend aussi sur une partie du Maroc et de la Tunisie. Le plus haut pic de la chaîne est le djebel Chélia, dans les Aurès (Algérie), à 2 328 m d'altitude.

- Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes, de plaines caillouteuses et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme ElOued, Ghardaïa et Djanet .Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forme. Pratiquement, la limite méridionale du Sahara algérien.

IX.1.3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION

Notre projet est situ dans la zone des Hauts Plateaux d'Algérie connus aussi comme Hautes Plaines ou la steppe algérienne, sont un relief bordant l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Ils parcourent en diagonale l'Algérie de la frontière marocaine à celle de la Tunisie à une altitude moyenne de 1 000 m. Ils sont constitués de deux grands ensembles : les steppes algéro-oranaises et les hautes plaines du Constantinois.



Figure IX.1: Cadre des unités géologique-structurelles du d'Algérie

IX.1.4. GEOLOGIE LOCALE

Le tracé s'étend essentiellement sur des roches cohérentes néogènes ainsi que sur des roches meubles quaternaires. En ce qui concerne les roches néogènes, il s'agit de grès et de roches carbonatées ainsi que de roches sédimentaires à granulations fines telles que les limons et les argiles ; au niveau de Boughezoul, le sous-sol est composé de sédiments de fine granulation, de roches sédimentaires et de roches évaporitiques (gypse, anhydrite, sel gemme).

Sur les plateaux largement étendus, le massif montagneux ancien est recouvert sur une grande surface d'une couche peu épaisse de graviers et pierres altérés par l'érosion. Dans les vallées peu prononcées se présentent des sédiments quaternaires (argiles, limons, sables et dans une moindre mesure des graviers). L'épaisseur des couches de roches meubles, en particulier dans les zones d'affaissements et de fonds de vallées, ne peut pas être évaluée sans avoir effectué au préalable des reconnaissances en profondeur. Les ponts qui seront implantés dans les zones de sédiments à granulations fines, devront être construits sur des fondations profondes, sur la base des études générales et des résultats des essais et forages.

Dans notre tronçon de Pk0 0+00 au Pk 20+00 entre Tissemsilt et Bougara, le tracé de ligne doit passer une arête de montagne qui est formée de grès ainsi que de limons et d'argiles. En raison d'un plissement par endroits très fort, les roches sont inclinées dans des sens assez variables et forment des angles d'incidences variables. Selon les roches qui s'y trouvent, les coupes et entailles de terrain, en particulier, doivent être distinguées d'un point de vue géotechnique. On trouve les roches sédimentaires à granulations fines ainsi que les roches meubles à granulations fines tout particulièrement dans la portion centrale et orientale du tracé. Ces roches ne se prêtent pas à la fabrication de matériaux de construction.

IX.2. ETUDE GEOTECHNIQUE

IX.2.1. INTRODUCTION

L'étude géotechnique est l'un des éléments clé dans toutes les activités de conception de projet, elle intervient dans le choix de site mais le plus souvent son objectif est de fournir les caractéristiques relevant du sol, sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction, ainsi que pour l'éventuelle réutilisation des matériaux.

IX.2.2. PROGRAMME D'INVESTIGATION GEOTECHNIQUE

Le programme d'investigations défini par l'ingénieur d'étude doit permettre d'obtenir l'ensemble des informations nécessaires pour définir une solution technique optimale tenant compte à la fois du projet et du site sur lequel il doit être construit. Ainsi, pour un projet identique, le programme pourra différer en fonction du contexte géologique attendu du terrain choisi ; de même pour un terrain donné, le programme d'investigation sera adapté au projet et ne sera donc pas le même en fonction de son emprise au sol, des descentes de charge envisagées (poids de l'ouvrage), de la présence ou non de niveaux enterrés, etc.

Ce programme, consiste à l'exécution des investigations suivantes :

- Investigations in situ (puits, sondages carottés, essais pénétrométriques et pressiométrique, avec installation des piézomètres …)

Tableau IX.1: l'essai et leur objectif

Essais	objectifs
Les puis de reconnaissance	Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontré
Sondage carotté	-Identification du sol -Distinction des types de formation -Prélèvement des échantillons.
Essais de pressiométrique	-Détermination des pressions limites et de fluage
Essais de pénétration dynamique	-Détermination de la succession des différentes couches de sol -Capacité portante du sol

- Prélèvements des échantillons intacts et remaniées.
- Réalisation des 'essais de laboratoire (essais d'identifications, essais mécaniques) sur chaque couche de terrain.

Les investigations sont réparties sur les lots suivants ;

1. Lot Voie ferrée

2. Lot ouvrage d'art.

3. Lot gite d'emprunt et carrières.

Tableau IX.2: les essais de chaque lot

Essais	Lot Voie ferrée	Lot ouvrage d'art	Lot gite d'emprunt et carrières.
Essais in-situ	–Puit de reconnaissance .	-Sondages carottés et essais SPT -Sondages pressiométriques - essais pénétrométriques piézomètre	-Puits de reconnaissance
Essais en laboratoire	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur sol	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur sol	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur :sol/Roche

IX.2.2.1. Lot Voie ferrée

IX.2.2.1.1. Reconnaissance de portance de la plate-forme

A. Essais in situ

Pour la classification de la plate-forme d'emprise du tracé ; des puits de reconnaissance seront creusés, à l'aide d'une pelle équipée en rétro, jusqu'à atteindre une profondeur de près de 3 mètres. Ils seront de préférence placés dans des profils à petit hauteur.

B. Essais en Laboratoire

Les essais en laboratoire à exécuter à partir des échantillons recueillis dans les puits de prospection, seront ceux qui figurent ci-dessous, parmi tant d'autres qui s'avèreraient nécessaires à une bonne caractérisation géotechnique :

- **Essais d'identification** :Analyse granulométrique par procédé de tamis, limites d'Atterberg, la détermination de la teneur en eau naturel et de la valeur du bleu de méthylène.
- **Essais Proctor Modifié** : sera déterminé au γd maximum et la teneur en eau correcte des matériaux.
- **Essais de Poinçonnement CBR** : La détermination d'indice portant des sols.

Les essais seront élaborés par explosion de 3 échantillons moulés, aux valeurs proches de celles obtenues lors des essais Proctor.

Les puis de reconnaissance :

Tableau IX.3: Puits de reconnaissance

Puits	PK	Profondeur
1	00 + 500	3
2	01 + 000	3
3	02 + 500	3
4	04 + 000	3
5	05 + 500	3
6	07 + 000	3
7	08 + 500	3
8	10 + 000	3
9	11 + 500	3
10	13 + 000	3
11	14 + 500	3
12	16 + 000	3
13	17 + 500	3
14	18 + 500	3
15	20 + 000	3

IX.2.2.1.2. Les terrassements déblais/remblais

IX.2.2.1.2.1. Essais in situ

Pour l'étude de la stabilité des déblais et remblais, l'investigation géotechnique sera comme suit :

- Un sondage carotté au niveau de chaque déblai et remblai considérable avec installation d'un piézomètre.

Tableau IX.4: Localisation des investigations pour les remblais importants

Localisation	Hauteur Max du Remblai	SONDAGE	Profondeur
00+220	9.14	SC1	15
02+150	11.72	SC2	20
03+325	15.67	SC3	20
07+900	7.69	SC4	15
08+320	10.74	SC5	20
09+430	10.89	SC6	20
11+000	11.15	SC7	20
12+450	6	SC8	15
15+870	8.74	SC9	15
16+200	9.79	SC10	15

Tableau IX.5: Localisation des investigations pour les déblais importants

Localisation PK	Hauteur Max du déblai	SONDAGE	Profondeur
01+275	10.92	SC1	20
03+075	5.14	SC2	15
06+075	21.61	SC3	25
09+100	5.14	SC4	15
11+850	4.08	SC5	15
13+300	8.86	SC6	15
14+150	8.88	SC7	15
14+925	5.99	SC8	15
17+650	9.86	SC9	15

IX.2.2.1.2.2. Essais en Laboratoire :

- Essais physiques (densité, teneur en eau, plasticité et granulométrie).
- Essais mécaniques (essais de cisaillement CD ou CC, essai œdométrique pour les remblais).

IX.2.2.2. Lot Ouvrages d'Art

Pour le lot ouvrages d'arts, l'investigation géotechnique sera comme suit :

IX.2.2.2.1. Essais In situ

–Des sondages carottés de profondeur variable selon le type d'ouvrage avec installation d'un piézomètre.

-Des sondages pressiométriques de 20m de profondeur, comprenant le forage et les essais tous les 2m de profondeur.

IX.2.2.2.2. Essais de laboratoire

❖**Essais physico-chimiques**

- Analyses granulométriques et Sédimentométrie sur tous les échantillons ;
- Mesure des densités sèches (γd) humide (γh), spécifique (γs), la teneur en eau naturelle (Wn) et du degré de saturation (Sr).
- Limites d'Atterberg pour déterminer, la limite de liquidité (WL) , (WP) limite de plasticité et l'indice de plasticité (Ip).
- Analyse chimiques sommaires sur quelques échantillons pour l'évaluation du degré d'agressivité du sol vis-à-vis les fondations des ouvrages d'art.

❖**Essais mécaniques**

- Essai de cisaillement drainé et non drainé pour déterminer les cohésions et angles de frottement correspondants. Ce type d'essai permet de calculer les contraintes admissibles et les charges nominales pouvant être supportées par les sols présents sous les ouvrages d'art projetés.
- Essais de compressibilité à l'odomètre pour déterminer la compressibilité et le gonflement de sol.

Tableau IX.6: les PK et les types sondage et leurs profondeurs

TYPE D'OUVRAGE	PK	Type de sondage	Profondeur
Pont Rail	**00+201**	**1 SC01+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**02+413**	**1 SC02+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**03+812**	**1 SC03+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**04+426**	**1 SC04+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**07+375 au 7+900**	**6 SC05+8 Pr**	**20**
Pont Rail	**08+050 au 08+575**	**6 SC06+8 Pr**	**20**
Passage supérieur	**09+602**	**1 SC07+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**10+801**	**1 SC08+1 Pr**	**20**
Passage supérieur	**13+476**	**1 SC09+1 Pr**	**20**
Passage supérieur	**15+401**	**1 SC10+1 Pr**	**20**
Pont Rail	**15+875 au 16+000**	**2 SC11+4 Pr**	**20**
Pont Rail	**16+676**	**1 SC12+1 Pr**	**20**
Passage supérieur	**18+731**	**1 SC13+1 Pr**	**20**

Nomenclature des symboles :

- SC : Sondage carotté avec piézomètre.
- Pr : sondage pressiométrique.

IX.2.2.3. Lot gîte d'emprunt et carrières

IX.2.2.3.1. Les essais pour les puis de reconnaissance de carrières

Sur les échantillons prélevés, doit être effectué les essais suivants :

- Analyse granulométrique par tamisage
- Limite de liquidité (limite d'Atterberg) "WL"
- Indice de plasticité
- Valeur de bleu du méthylène (VBS)
- Indice portant
- Teneur en eau
- Micro Deval Humide
- Los Angeles
- Equivalent de sable

IX.2.2.3.2. Localisation de gîtes et carrières pour notre projet

Tableau IX.7: Localisation de gîtes et carrières pour notre projet

Désignation du gite	Situation	Nature géologique	Caractéristiques géotechniques	Possibilité d'utilisation
Carrière Oued M'GHILA - Commune : LA YOUNE - Daira : KHEMISTI - Wilaya : TISSEMSILT	passe dans l'Est de la Commune de Layoune. L'exploitation se fait le long de l'oued.	TVO = tous venant d'Oued	WL= 21 – 31% IP= 5 – 9% CaCO3 = 2 -18% >20mm = 8- 20% <80µ = 4 -7% VBS = 0.25 – 0.38 CBR = 42 – 66 à 100% 20 - 35 à 95% Proctor = 2.24 - 2.28t/m3 W = 4 – 7%	Couche de fondation
Carrière BOUAICHE - Commune : SIDI-ABED - Daira : AMMARI - Wilaya : TISSEMSILT	Montagne en bord du CW06 : Tissemsilt – Sidi.Abed, à quelque 1.5km de Sidi-Abed.	Calcaire marneux moyennement dur à passées de marne.	WL= 28-31% IP= 9-12% CaCo3 = 27-41% >20mm = 22-31% <80µ =10-19% VBS= 0.16-.35 CBR = 42-74 à 100%; 16-27 à 95% Proctor = 2.11-2.22t/m3 W = 5-10%, LA=34-44 MDE=79-81	Remblai Nécessite traitement.

IX.2.3. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE

IX.2.3.1. ESSAIS IN SITU

IX.2.3.1.1. Les puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance sont réalisés à l'aide d'un Rétro - chargeur tout au long du notre tracé (endroits accessibles) Sur une profondeur de 3m. Ces puits nous permettent d'observer directement en profondeur la nature des formations présentes, d'évaluer l'épaisseur de la terre végétale pour le décapage et de procéder au prélèvement d'échantillons remaniés pour l'identification et la caractérisation géotechnique en laboratoire.
Cet essai permet une exploration visuelle des couches supérieures, (15) puits ont été exécutés.
Les résultats de puis de reconnaissance :

Tableau IX.8: Les puits de reconnaissance et description lithologique

PUITS n°	PK	**Description lithologique**
PU 01	00 + 500	**0,00 –0,20m:** Terre végétale formée d'argile silto-sableuse gris verdâtre à gravelles **0,20 – 0,50m** : Croûte calcaire assez dure. **0,50 – 3,00m :** Argile silteuse verdâtre gypsifère à aspect feuilleté à la base.
PU 02	01 + 000	**0,00 – 0,30m :** Terre végétale formée d'argile silteuse marron jaunâtre plastique **0,30 – 0,60m :** Argile silteuse marron jaunâtre gypsifère plastique **0,60 – 0,70m :**Argile silteuse grisâtre légèrement indurée à aspect feuilleté.
PU 03	02 + 500	**0,00 – 0,20m :** Terre végétale formée d'argile silto-sableuse gris verdâtre à gravelles **0,20 – 0,60m :** dépôts de sable et grés désagrégés **0,60 – 2,50m :** grés carbonates, beige et fragmentées
PU 04	04 + 000	**0,00 – 0,30m :** Limons sableux marron **0,30 – 0,70 m :** sable graveleux et grés désagrégé **0,70 – 3,00m :** grés carbonatés, a grains fins, beige
PU 05	05 + 500	**0,00 – 0,30m :** argiles sablo-limoneuses, brunâtres a marrons **0,30 – 0,70m :** Croûte calcaire, assez dure **0,70 – 3,00 m :** Tufs sableux à graveleux, peu caillouteux, rosâtres
PU 06	07 + 000	**0,00 – 0,40m : :** argiles sablo-limoneuses, brunâtres a marrons **0,40 – 0,80m :** Argile sableuse verdatre à jaunâtre, renfermant des galets **0,80 – 3,00m :** Tufs sablo-graveleux, par endroits, caillouteux, rosâtres
PU 07	08 + 500	**0,00 – 0,35m :** Argile beige à jaunâtre, **0,35 – 0,80 m :** Croûte calcaire, dure **0,80 – 2,20 m :** Tufs sableux, graveleux, rosâtres avec passages consolidés par endroits
PU 08	10 + 000	**0,00 – 0,20m :** Sable limoneux, graveleux avec galets en surface et racines végétales **0,20 – 1,00m :** Sable gravelo-caillouteux avec galets **1,00 – 3,00m :** Tufs sableux, graveleux, rosâtres
PU 09	11 + 500	**0,00 – 0,30m :** Sable graveleux, peu caillouteux avec racines végétales **0,30 – 1,00m :** Croûte calcaire assez dure à dure en profondeur
PU 10	13 + 000	**0,00- 0,30m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs **0,30 – 0,50m :** Croûte calcaire dure
PU 11	14 + 500	**0,00 – 0,30m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs **0,30 – 0,50m :** Croûte calcaire dure
PU 12	16 + 000	**0,00 – 0,40m :** Recouvrement gravelo-caillouteux avec galets et blocs **0,40 – 0,80m :** Croûte calcaire dure **0,80 – 2,30m :** Tufs sableux, peu graveleux à graveleux, rosâtres à blanchâtres
PU 13	17 + 500	**0,00 – 0,30 m : :** Limons sableux, avec cailloux et galets en surface **0,30 – 0,80m :** Croûte calcaire assez dure **0,80 – 2,60m :** Tufs sableux, peu graveleux à graveleux, rosâtres
PU 14		**0,00 – 0,20m:** Limons sableux avec racines végétales **0,20 – 0,50m** : Croûte calcaire assez dure

	18 + 500	**0,50 – 3,00m :** Tufs sableux, graveleux, très peu caillouteux, rougeâtres
PU 15	20 + 000	**0,00 – 0,30m :** Limons sableux, avec cailloux et galets en surface **0,30 – 0,60m :** Tufs sableux, graveleux **0,60 – 0,70m :** Refus sur dalle calcaire dure

IX.2.3.1.2. Les Sondages Carottés

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. A la différence d'un sondage destructif ou à la tarière, le sondage carotté permet de conserver une « image » de la succession des couches, de déterminer la nature des formations en place et de récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques.



Figure IX.2: Un exemple de sondage carotté

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

Tableau IX.9: Les résultats de sondage carotté et la description lithologique

sondage	Pk	profondeur	Description lithologique
SC1	07+900	0-1	Argile sableuse, brunâtres a marrons claire
		1-2	Argile sableuse verdatre à jaunâtre, renfermant des galets, des concrétions carbonatées et des fragments anguleux de roches consolidées

		2-20	Argile gris bleuté à la base et verdâtre au sommet
SC2	**08+320**	**0-2**	Argile beige à jaunâtre, meuble et renfermant des fragments de roches gréseuses consolidées ou friables
		2-19	Grés roux à grains fins à moyens et dur, présentant des fissures verticales. devenant graveleux entre 4.60m et 4.70m et s'alterne avec des passées centimétriques a décimétriques d'argile verdâtre
		19-20	Grés fin verdâtre. fissuré et admettant des intercalatâtions argileuse
SC3	**11+100**	**0-2**	Argile marron à brune. renfermant des concrétions carbonatées et de rares fragments millimétriques de roches consolidées.
		2-10	Argile verdatre meuble
SC4	**13+350**	**0-0.2**	Terre végétale brune
		0.2-1.5	Argile marron à brune
		1.5-2	Argile verdatre renfermant de galets centimétriques et des concrétions carbonatées
		2-8	Argile verdatre meuble renfermant des concrétions carbonatées a certains niveaux
		8-18	Galets centimétriques, hétérogène, arrondis et emballés dans une matrice argileuse verdatre
		18-20	Argile meuble vert foncé à la base et vert clair au sommet
SC5	**14+340**	**0-1.5**	Fragments centimétriques a décimétriques de grés dur et d'argile verdâtre consolidée (argilite) dans une matrice argilo-carbonatée brune et meuble
		1.5-5	Grés roux à grains fins à moyens et admettant des intercalations argileuses verdâtre
		5-10.5	Argile verdâtre compacte et consolidée, admettant des intercalations centimétriques de grés roux à grains fins
		10.5-11	Grés roux à grains moyens et intercalé par une argile verdatre
		11-14.5	Argile verdatre compacte, devenant une argile carbonatée et grisâtre vers la base

			et s'alterne avec des niveaux centimétriques de grés carbonate à débris de bois
		14.5-16.5	Grés grisâtre et dur en alternance avec des passes argilo-carbonatées grisâtres et minces
		16.5-20	Argile carbonatés gris bleuté et admettant quelques passées gréseuses
SC6	**15+850**	**0-0.5**	Terre végétale brune
		0.5-2.5	Argile sableuse, renfermant quelques fragments millimétriques de roches hétérogène et consolidées.
		2.5-3.5	Argile sableuse graveleuse, brune, consolidée et renfermant des tests de coquilles
		3.5-13	Gales centimétriques hétérogènes, subarrondis et emballes dans une matrice à argileuse brunâtre à la base et argilo-sableuse verdatre au sommet
		13-20	Argile verdâtre compacte
SC7	**16+200**	**0-0.2**	Terre végétale brune
		0.2-12	Argile sableuse grise et compacte, devenant un sable argileux compacte à certains niveaux
		12-19.8	Galets d'ordre centimétrique, hétérogènes, arrondis et enrobés dans une matrice argileuse verdatre meuble
		19.8-20	Argile verdâtre
SC8	**18 +100**	**0-0.5**	Terre végétale brune
		0.5-3	Tufs sableux, graveleux, très peu caillouteux, rougeâtres
		3-16	Argile verdatre meuble renfermant des concrétions carbonatées a certains niveaux
		16-20	Argile verdâtre

IX.2.3.1.3. Essai pressiométrique (NF P 94-110)

Un pressiomètre est un ensemble de l'appareillage nécessaire pour réaliser l'essai, il comprend une sonde, un contrôleur pression-volume appelé CPV et des tubulures. Le CPV est lui meme composé d'un système de mise en pression et de dilatation de la sonde et d'un conditionneur indicateur.

Le sondage pressiométrique est la succession de deux opérations : un forage pressiométrique et un ou des essais pressiométriques. L'expression sondage pressiométrique désigne aussi la représentation de l'ensemble des essais pressiométriques réalisés à différents niveaux au cours

du même forage. Ces essais permettent d'apprécier la succession des couches du sol et éventuellement leur nature.
Les résultats expérimentaux relevés par l'opérateur ou enregistrés sont interprétés par ordinateur, le programme calcule la courbe corrigée qu'il présente puis les caractéristiques pressiométriques E (module pressiométrique) , Pl (pression limite) , Pf (pression de fluage) et le rapport E/Pl.
Les valeurs de E , Pf et Pl déterminées sur un forage sont ensuite présentées sur un profil en fonction de la profondeur, ce profil est appelé profil pressiométrique.

Tableau IX.10: les sondages pressiométriques et leurs PK

Sondage pressiométrique	PK
SP2	02+841
SP3	03+630
SP4	04+810
SP5	05+250
SP6	05+704
SP9	09+777
SP10	10+889
SP11	12+785
SP12	13+362

Les résultats sont dans les tableaux suivantes :

Tableau IX.11: sondage pressiométrique SP2 (PK 02+841)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	22.25	6.20	5.22	3.59
02	17.93	5.30	4.26	3.38
03	12.76	3.90	3.90	3.27
04	10.99	3.45	3.45	3.19
05	35.44	6.20	3.83	5.72
06	37.96	4.11	2.55	9.25
07	153.97	13.11	5.71	11.75
08	175.05	11.11	5.62	15.76
09	226.15	26.63	16.58	8.47
10	379.29	28.54	12.03	13.29

Tableau IX.12: sondage pressiométrique SP3 (PK 03+630)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	31.87	6.22	4.36	5.12
02	18.63	5.30	5.30	3.52
03	21.73	5.40	4.28	4.02
04	11.31	3.45	3.45	3.28
05	14.24	5.32	3.25	2.68
06	11.21	3.45	3.45	3.25
07	16.99	5.30	4.45	3.10
08	28.22	5.95	4.53	4.74
09	442.79	31.11	16.00	14.24
10	577.24	32.68	21.98	17.66

Tableau IX.13: sondage pressiométrique SP4(PK 04+810)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	16.20	4.70	3.74	3.45
02	17.65	4.80	3.63	3.68
03	14.75	4.35	3.99	3.99
04	14.93	4.35	4.35	3.43
05	14.70	2.33	1.72	6.32
06	96.95	9.44	5.20	10.27
07	126.54	10.28	6.75	12.31
08	255.10	42.69	31.40	5.98
09	379.87	40.13	18.38	9.46
10	365.84	42.74	28.85	8.56

Tableau IX.14: sondage pressiométrique SP5 (PK 05+250)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	45.38	5.56	3.42	8.16
02	47.52	5.40	3.58	8.80
03	32.67	2.77	1.87	11.80
04	27.52	2.32	1.58	11.86
05	25.70	3.97	3.09	6.47
06	520.03	44.14	27.33	11.78
07	645.17	42.75	25.41	15.01

Tableau IX.15: sondage pressiométrique SP6 (PK 05+407) :

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01.50	88.76	12.25	7.19	7.25
02.50	112.30	14.23	9.45	7.89
03.50	250.03	20.37	12.11	12.27
04.50	260.01	13.42	5.53	19.37

Tableau IX.16: sondage pressiométrique SP9 (PK 09+777)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	106.17	5.86	4.84	18.12
02	86.12	9.64	6.77	8.93
03	75.30	6.14	3.33	12.27
04	69.55	5.78	4.88	12.04
05	73.36	5.38	3.11	13.62
06	108.12	8.53	5.68	12.68
07	70.64	7.52	4.09	9.39
08	293.89	14.56	6.67	20.19
09	315.14	16.66	8.29	18.92
10	238.98	16.76	8.78	14.26
11	222.09	16.86	9.51	13.18
12	378.68	14.36	7.78	25.32
13	236.85	15.24	8.32	15.54
14	214.55	17.48	8.58	12.27
15	410.46	17.34	6.27	23.67

Tableau IX.17: sondage pressiométrique SP10(PK 10+889)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	2.08	0.30	0.29	6.90
02	4.24	0.17	0.28	24.80
03	7.21	1.07	0.87	6.71
04	62.00	4.73	3.12	13.10
05	67.57	5.56	4.25	12.15
06	29.60	6.36	6.36	4.66
07	147.37	8.46	3.33	17.43

Tableau IX.18: sondage pressiométrique SP11 (PK 12+8785)

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	56.95	7.72	4.58	7.38
02	52.47	5.34	3.39	9.83
03	56.79	4.56	2.03	12.47
04	133.85	7.38	4.49	18.14
05	114.53	7.26	2.82	15.79
06	57.52	8.36	4.87	6.88
07	69.96	8.46	4.70	8.27

Tableau IX.19: sondage pressiométrique SP12 (PK 13+362) :

Profondeur (m)	Module pressiomètrique E (bars)	Pression limite Pl (bars)	Pression de fluage Pf (bars)	Rapport E/Pl
01	21.36	3.29	2.71	6.49
02	3305	3.80	2.31	8.71
03	25.02	3.13	1.95	7.98
04	233.28	11.65	7.07	20.02
05	176.41	10.26	5.60	17.20
06	135.79	10.44	5.57	13.01
07	206.74	9.46	3.86	21.86

IX.2.3.2. ESSAIS AU LABORATOIRE

Tous les échantillons prélevés dans les sondages et les puits de reconnaissance durant la campagne de reconnaissance, ont été transportés au niveau du laboratoire. Les essais ont été exécutés sur des échantillons intacts ou remaniés, ont subi des analyses pour une identification Physico-chimique, et la détermination des caractéristiques mécaniques du sol étudié.

Tableau IX.20: Liste des normes des Essais effectués

.

Types d'essais	Norme
Limite d'Atterberg	NF P 94-051
Analyse granulométrique	NF P 94-056
Analyse sédimentmètrique	NF P 94-057
Essai Proctor modifié	NF P 94-093
Essai de poinçonnement CBR avec imbibition	NF P 94-078
Détermination de la teneur en eau	NF P 94-050
Équivalent de sable	NF P 18-598

IX.2.3.2.1. Essais d'indentification

•Analyse granulométrique (NF P94-056) / (NF P94-057)

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de taille différente dans le sol. Elle s'effectue au laboratoire par :

✓Le tamisage : pour les particules à dimension supérieure à 80 μm.

✓Analyse sédimentométrique : pour les particules à dimension inférieure 80 μm.

•Essai Proctor modifié (NF P94-093)

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale, On appelle optimum Proctor, la teneur en eau (ω) pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donné, un poids volumique maximal.

IX.2.3.2.2. Essais physiques

•Détermination de la teneur en eau (NF P94-050)

Le test de la teneur en eau permet la détermination de la quantité d'eau existante dans le sol naturel (échantillon).

Cette information importante permettra de décider du traitement ou de compactage à apporter au sol.

IX.2.3.2.3. Analyse chimique

•Valeur au bleu de méthylène (NF P94-068)

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) mesure la capacité d'absorption d'un sol ou d'un matériau rocheux. Elle constitue un des paramètres d'identification de la classification des sols.

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau.

IX.2.3.2.4. Essais mécaniques

•Essai de compressibilité à l'œdomètre (XP P94-090-1)

L'essai œdométrique permet d'évaluer l'amplitude de tassement des ouvrages ainsi que son évolution dans le temps. Il consiste à :

–Placé le sol dans une enveloppe rigide.

–Exerce une pression variable à l'aide d'un piston.

–Mesure les affaissements observés. C'est la relation $\sigma = f(\varepsilon)$

•Essai de cisaillement rectiligne à la boite (NF P 94-071-1)

L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante. En vitesse lente et conditions drainées peuvent être déduites les valeurs de l'angle de frottement effectif f' et la cohésion effective c', paramètres utilisés pour le dimensionnement de fondations, les calculs de vérification des coefficients de sécurité à la rupture de talus et pour la détermination des actions de poussée et de butée sur les ouvrages de soutènement. L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans un bâti de cisaillement constitué de deux demi-boîtes indépendantes.

Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement préférentiel correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

❖ **L'essai consiste à (selon la norme NF P94-071-1)**

- Consolider l'éprouvette de section s dans une première phase en appliquant sur la face supérieure un effort vertical constant maintenu pendant tout l'essai (contrainte sn=N/s)
- La phase de consolidation permet de calculer la vitesse à laquelle doit être cisaillé l'échantillon.
- Cisailler ensuite le long du plan de séparation des 2 demi-boîtes en leur imposant un déplacement relatif à vitesse constante.
- L'effort de cisaillement horizontal (T) est mesuré et la contrainte t=T/s est calculée.

✓ pour notre cas on a faire un essai de cisaillement rectiligne a court terme (rapide) et trouve les valeurs Cu (cohésion non drainé) et φu (angle de frottement non drainé)

IX.2.3.3. SYNTHESE DES RESULTATS DE LABORATOIRE

IX.2.3.3.1. Les sondages carottiers

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, Limites d'ATTERBERG, Détermination de la teneur en eau, Masses volumiques) les sondages carottiers.

L'ensemble des résultats des essais au laboratoire est donné ci-après :

- **Essais physiques**

1. Humidité

légende :

γ_s : Densité spécifique
W : teneur en eau
γh : Densité humide.
γd : Densité sèche.
Sr : Degré de saturation

Tableau IX.21: Résultats de l'essai physique au laboratoire

SONDAGE	pk	Prof (m)	γs (T/ m^3)	γh (T/ m^3)	γ d (T / m^3)	W (%)	Sr
SC1	**07+900**	**9-10**	**2.53**	**2.18**	**2.04**	**6.9**	**58**
SC2	**08+320**	**5-5.5**	**2.55**	**2.06**	**1.82**	**13.2**	**75**
SC3	**11+100**	**3-4**	**2.55**	**2.03**	**1.76**	**15.4**	**78**
SC4	**13+350**	**4-4.2**	**-**	**1.95**	**1.57**	**23.9**	**90**
SC5	**14+340**	**5.3-6**	**-**	**2.15**	**1.86**	**15.6**	**93**
SC6	**15+870**	**2-2.3**	**2.53**	**2.37**	**2.19**	**8.1**	**94**
SC7	**16+200**	**9-9.3**	**2.61**	**2.04**	**1.73**	**17.7**	**84**
SC8	**18+100**	**9-10**	**2.56**	**1.87**	**1.78**	**5.3**	**28**

2.Granulométrie par tamisage

légende :

% < 5 mm : Pourcentage des passants inférieur à **5 mm**
% < 1 mm : Pourcentage des passants inférieur à **1 mm**
% < 0.2 mm : Pourcentage des passants inférieur à **0.2 mm**
% < 0.1 mm : Pourcentage des passants inférieur à **0.1 mm**
% < 20µ : Pourcentage des passants inférieur à **20µ**
% < 2 µ : Pourcentage des passants inférieur à **2 µ**

Tableau IX.22: Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage

SONDAGE	pk	Prof (m)	Passant à (%)					
			5mm	1mm	0.2mm	0.1mm	20µ	2 µ
SC1	**07+900**	**9-10**	**100**	**96**	**87**	**87**	**56**	**08**
SC2	**08+320**	**5-5.5**	**100**	**98**	**77**	**62**	**31**	**06**
SC3	**11+100**	**3-4**	**100**	**100**	**100**	**100**	**63**	**13**
SC4	**13+350**	**4-4.2**	**100**	**100**	**100**	**100**	**61**	**10**
SC5	**14+340**	**5.3-6**	**100**	**100**	**100**	**100**	**79**	**20**
SC6	**15+870**	**2-2.3**	**100**	**100**	**100**	**100**	**80**	**22**
SC7	**16+200**	**9-9.3**	**95**	**87**	**53**	**42**	**24**	**04**
SC8	**18+100**	**9-10**	**100**	**100**	**100**	**100**	**63**	**21**

3.Limite d'Atterberge

légende:

W_L : Limite de liquidité

W_P : Limite de plasticité

I_P : Indice de plasticité

Tableau IX.23: Résultats des essais au laboratoire

SONDAGE	pk	Prof (m)	WL (%)	WP (%)	IP (%)
SC1	**07+900**	**9-10**	**43.88**	**26.87**	**17.01**
SC2	**08+320**	**5-5.5**	**35.25**	**17.98**	**17.27**
SC3	**11+100**	**3-4**	**58.06**	**30.56**	**27.5**
SC4	**13+350**	**4-4.2**	**64.12**	**35.83**	**28.29**
SC5	**14+340**	**5.3-6**	**63.23**	**29.69**	**33.54**
SC6	**15+870**	**2-2.3**	**44.04**	**25.41**	**18.63**
SC7	**16+200**	**9-9.3**	**26.71**	**13.94**	**12.77**
SC8	**18+100**	**9-10**	**48.24**	**22.52**	**25.72**

- **Essais mécaniques**

- **Essai de compressibilité à l'œdomètre (XP P94-090-1)**

Légende:

P_C : pression de consolidation (bars)

C_C : coefficient de compressibilité (%)

C_G : coefficient de gonflement (%)

Tableau IX.24: Résultats des essais au laboratoire

SONDAGE	pk	Prof (m)	P_C (bars)	C_C (%)	C_G (%)	Interprétation des résultats d'après K-TERZAGUI et G-SANGELAT
SC1	07+900	6-6.5	0.96	21.13	4.93	Sol sous consolidé, assez compressible et gonflement
SC2	08+320	7.5-8.2	2.16	27.42	7.46	Sol sur consolidé, assez compressible et gonflement
SC3	11+100	3.4-4	2.28	17.06	11.84	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC4	13+350	12-12.5	2.57	21.94	10.68	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC5	14+340	5.3-5.5	2.44	19.03	11.33	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC6	15+870	2-2.3	1.97	20.13	13.22	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement
SC7	16+200	9-9.3	1.55	17.98	7.65	Sol sous consolidé, assez compressible et gonflement
SC8	18+100	14.5-15	1.63	19.77	12.15	Sol sur consolidé, moyennement compressible et gonflement

- **Essai de cisaillement rectiligne (NF P94-071-1)**

Légende :

Cu: Cohésion effective (bars).

φu : Angle de frottement effective (°).

Tableau IX.25: Résultats des essais au laboratoire

SONDAGE	pk	Prof (m)	Cu (kg/cm^2)	φu (°)
SC1	07+900	5.6-6	0.28	2.38
SC2	08+320	9.4-10	0.60	4.37
SC3	11+100	15.5-16	0.26	5.31
SC4	13+350	2-2.5	0.26	5.01
SC5	14+340	11.7-12	0.24	6.87
SC6	15+870	2-2.3	0.27	5.44
SC7	16+200	9-9.3	0.19	3.07
SC8	18+100	9-10	0.25	4.11

IX.2.3.3.2. Les Puits de reconnaissance

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, VBS, Essai Proctor, Détermination de la teneur en eau,).

- **Interprétation des résultats**

Le tableau suivant donne les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres géotechniques obtenus sur les échantillons des formations traversés par le tracé de la ligne ferroviaire, Les valeurs moyennes seront considérées comme valeurs représentatives de l'unité.

Tableau IX.26: Interprétation des résultats de puis de reconnaissance

Paramètres géotechniques		Min	Max	Moyenne
Teneur en eau	W%	10.44	27,83	17.33
Granulométrie	< 80 µ (%)	57.5	95.73	78.69
Limite d'Atterberg	WL (%)	26.43	72.40	58.63
	IP (%)	12.24	33.24	26.84
Bleu Méthylène	VBS	0.14	1,11	0.73
Proctor Normal	γd	1,57	2.08	1.77
	WOPM	10.44	20.1	17.33

IX.2.4. CLASSIFICATION DU SOL SELON LES FICHES UIC 719R ET GTR ''LA NORME NFP 11-300''

La classification élaborée par l'Union international des chemins de fer (UIC) a été adopté pour la classification du sol support le long du tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques. Pour arriver à cette classification il faut passer en premier lieu par une classification des sols selon la norme (NFP 11-300).

En se basant sur données réelles concernant la fréquence et nature des trafics prévisionnels, la détermination de la charge nominale par essieu ainsi que le travelage qui sera adopté pour le présent projet et par conséquent l'espacement, axe en axe, des traverses. Cependant, il sera question dans le présent rapport de classifier notre sol (sol support) en se basant sur les résultats obtenus au terme des essais en laboratoire ainsi que sur les prescriptions données par les UIC (UIC 719F-194b), notamment les chapitres (1.3.1) et (1.3.2) alloués respectivement aux classes de qualité de sol et de la portance des plates formes.

Ainsi selon les résultats des essais géotechniques obtenues et la norme (NFP 11-300), les sols de la plate forme du projet, sont en grande partie de la **classe C** avec sous classe **C1A1m,s** pour l'ensemble du tronçon.

Selon la fiche UIC 719R, la classe de qualité du sol de la plate forme, correspond globalement à la classe de sol type QS**1.**

IX.2.5. CONCLUSION

Après plusieurs essais in situ et essais au laboratoire on conclure que notre sol est de classe QS1 ce qui nous permettra de dimensionner la structure d'assise correspondante à cette classe de qualité de sol.

CHAPITRE X :

ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT

X.1. ETUDE HYDROLOGIQUE

X.1.1. INTRODUCTION

Pour assurer la durée de vie maximale de nos projets quelle que soit leur nature (routes, voies ferrées), nous devons les protéger leur ennemie principale qui est l'eau, nous sommes donc très intéressés par l'étude hydrologique afin de drainer et évacuer les eaux pluviales le long du tracé de la ligne ferroviaire en déterminant d'abord le bassin versant, puis les caractéristiques des crues des différentes périodes de retour

X.1.2. CONTEXTE HYDRAULOGIQUE GENERALE

Le tracé de la nouvelle voie ferrée se situe au Nord - Ouest de l'Algérie, Cette région se caractérise par un climat méditerranéen avec parfois des averses très importantes qui peuvent conduire à des catastrophes naturelles

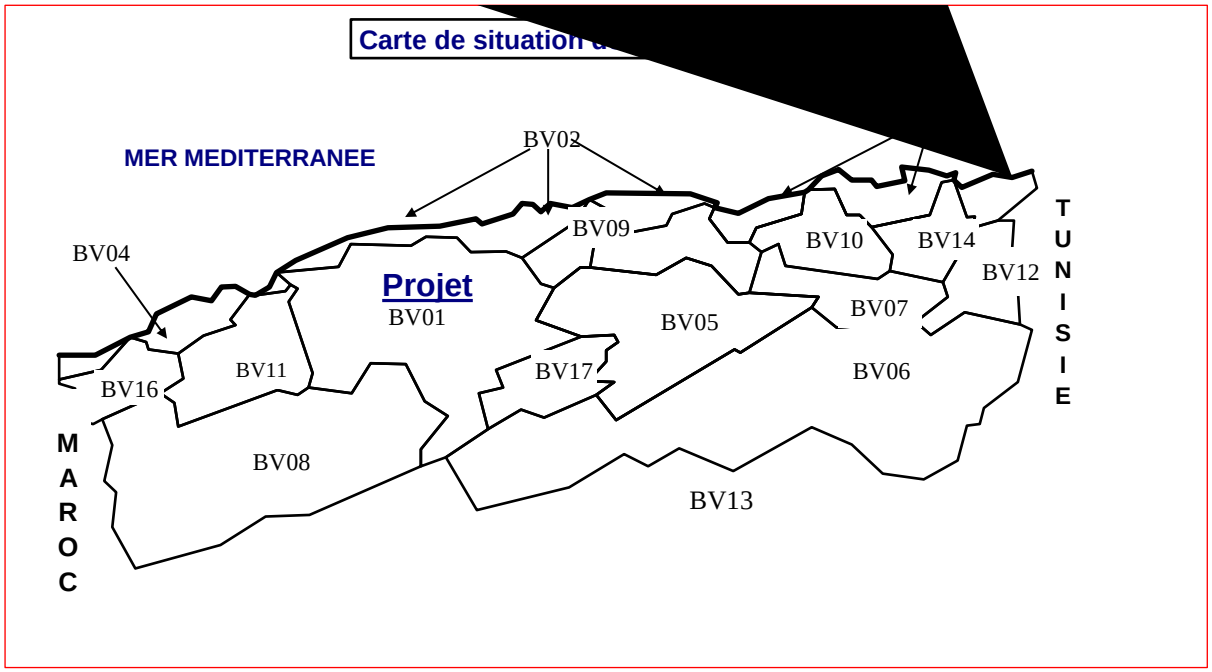


Figure X.1: carte de situation de la région d'étude

La desserte ferroviaire reliant la ville de Tissemsilt à celle de Boughezoul traverse le bassin versant du Chéliff codé (01) par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), est situé au Centre-Ouest du pays.

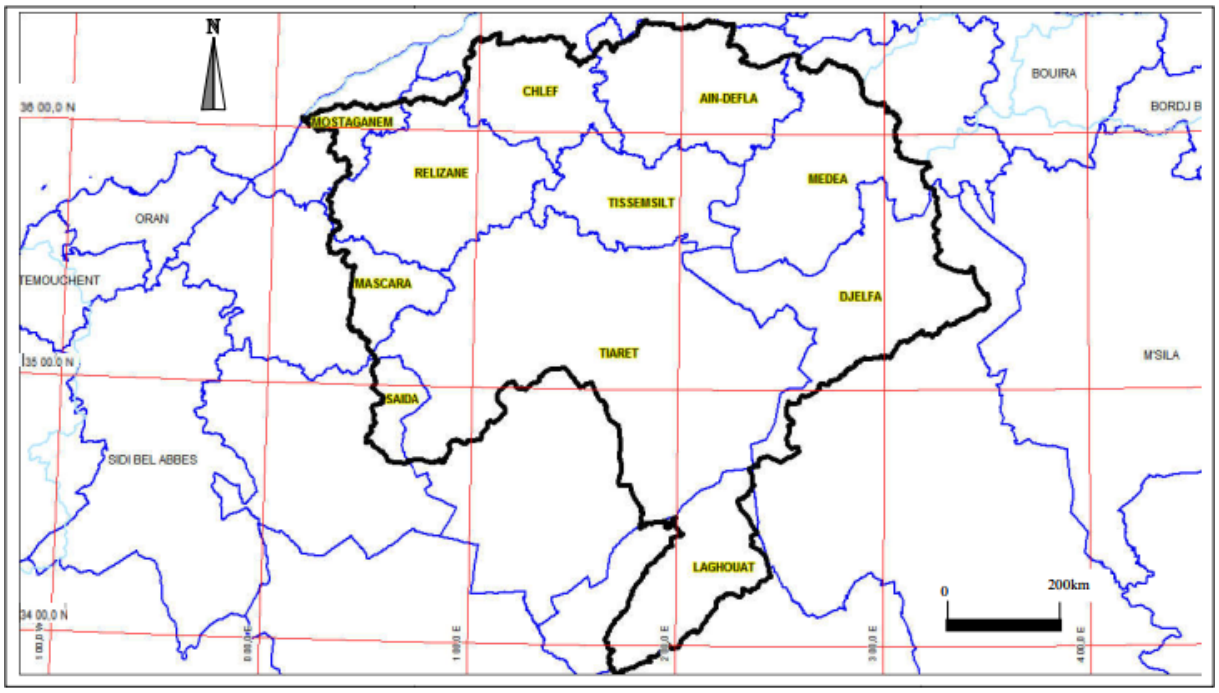


Figure X.2: délimitation du bassin versant 01 du Chéliff

X.1.2.1. Pluviométrie

Pour déterminer les précipitations maximales journalière et annuel on a exploité les données pluviométriques de 2 stations qui sont Station de Hamadia (010802) et station de Tissemsilt (011006)

X.1.2.2. Pluies maximales annuelles

Les paramètres statistiques des pluies annuelles des trois stations calculées à base des données pluviométriques recueillies au niveau de l'ANRH (voir Annexe 2) sont résumés dans le tableau

Tableau X.1: Pluies maximales annuelles

Nom de la station	Période d'observation	Moyenne annuelle (mm)	Ecart type (mm)
Tissemsilt	68 ans	271,7	83,1
Hamadia	37 ans	338,6	91,8
Moyenne		295,27	

X.1.2.3. Précipitation journalière maximale

L'ajustement à la loi de Gumbel nous donne les pluies journalières maximales qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans**.**

Tableau X.2: Précipitation journalière maximale

Période de retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
U.Gumbel	2,25	2,97	3,90	4,60
Hamadia	23,9	30,3	38,6	44,8

X.1.3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS

La détermination des caractéristiques des bassins versant a pour but de calculer les débits des crues, elle se fait sur la carte d'état-major, et à l'aide du logiciel autocad.

Les paramètres déterminés pour chaque bassin sont :

- La Surface
- Le périmètre
- La Longueur Du Cours D'eau Principal.
- L'altitude Max
- L'altitude Min
- L'altitude Moyenne
- L'indice De Pente

Tableau X.3: Caractéristiques des paramètres de bassins versants

N° BV	PK	S (Km²)	P (Km)	L(Km)	Kc	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Δh (m)	pente talweg (m/m)
1	0+112	23,76	26,79	10,70	1,54	1078	870	974	208	0,02
2	2+600	33,4	34,99	13,14	1,70	1078	865	971,5	213	0,02
3	3+325	1,06	3,92	1,4	1,07	900	865	882,5	35	0,03
4	4+515	1,18	5,26	2,45	1,36	925	845	885	80	0,03
5	4+930	1,26	5,15	1,47	1,28	849	838	843,5	11	0,01
6	7+025	0,14	1,89	0,21	1,41	880	860	870	20	0,10
7	7+525	0,62	3,61	1,26	1,28	938	840	889	98	0,08
8	7+825	1,09	5,42	1,88	1,45	945	833	889	112	0,06
9	8+290	149,58	56,87	7,56	1,30	1128	828	978	300	0,04
10	9+485	0,32	2,42	0,92	1,20	902	850	876	52	0,06
11	9+955	0,94	4,51	1,61	1,30	922	840	881	82	0,05
12	10+034	0,16	2,32	0,58	1,62	910	840	875	70	0,12
13	10+558	0,64	3,63	0,84	1,27	910	840	875	70	0,08
14	10+950	0,19	2,11	0,13	1,36	905	876	890,5	29	0,22
15	11+020	0,77	4,67	1,23	1,49	916	833	874,5	83	0,07
16	12+150	0,64	3,56	1,03	1,25	880	831	855,5	49	0,05
17	12+460	0,25	2,14	0,5	1,20	855	831	843	24	0,05
18	13+045	0,28	2,305	0,56	1,22	855	820	837,5	35	0,06
19	13+200	0,2	2,023	0,25	1,27	855	818	836,5	37	0,15
20	13+550	0,12	1,54	0,15	1,24	852	820	836	32	0,21
21	13+900	0,18	1,92	0,16	1,27	850	820	835	30	0,19
22	14+575	7,88	14,19	4,75	1,42	935	820	877,5	115	0,02
23	15+212	0,27	2,408	0,72	1,30	840	810	825	30	0,04
24	15+930	1143,94	247,062	84,25	2,05	1228	810	1019	418	0,005

X.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE

X.1.4.1. Le temps de concentration d'eau Tc

C'est le temps mis par l'eau pour parcourir la distance entre le sommet du bassin versant temps jusqu'à l'exutoire et ce dernier sans s'évaporer ou s'infiltrer dans le sol.

Les formules de détermination du temps de concentration sont utilisées suivant la superficie du bassin versant.

- Superficie inférieure à 5 Km² :

Il est calculé par la formule de VENTURA : $T_C = 0{,}127\sqrt{\frac{S}{P}}$

Tc : Temps de concentration en heure

S : Surface du bassin versant en km²

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

- Superficie comprise entre 5 et 25 Km : $T_C = \frac{0{,}11\ (S \times L)^{1/3}}{\sqrt{P}}$

Tc est calculé par la formule de PASSINI :

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

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

- Superficie comprise entre 25 et 200 km² : $T_C = \frac{4\sqrt{S}+1{,}5L}{0{,}8\sqrt{H}}$

Tc est calculé par la formule de GIANDOTTI :

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

H = Hmoy –Hmin (m).

X.1.4.2. Intensité de pluie de durée (T)

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme : $I(t, T) = \frac{a\ (T)}{t^b}$

- Intensité de pluie en mm/h
- T : période de retour
- t : temps en heures.
- a et b : paramètres de Montana

Caractéristiques climatiques sont :

Tableau X.4: Caractéristiques climatiques

Station	b	a (10)	a (100)
Tissemsilt	0,64	17,51	25,29
Hamadia	0,64	8,68	16,27

X.1.4.3. Coefficient de ruissellement

Selon KENESSEY le coefficient de ruissellement est calculé par la somme de trois (03) coefficients partiels

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

Tableau X.5: Coefficient de ruissellement C1

Pente	C1		
≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

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

Tableau X.6: Coefficient de ruissellement C2

Nature du sol	C2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

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

Tableau X.7: Coefficient de ruissellement C3

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

X.1.4.4. Calcul des débits des bassins versants

Après connaissez tous les paramètres des bassins versants ont calculé le débit de crue pour dimensionner les ouvrages hydrauliques pour un évènement pluvieux d'occurrence centennale

Nous avons le choix entre une multitude de formules pour le calcul du débit de projet, cependant nous optant pour la méthode la plus simple et qui s'adepte le mieux à la région d'étude à savoir la méthode rationnelle.

- Formule rationnelle ($A \leq 200$ km^2) : $Q_{max} = 0{,}278 \times C \times I \times A$

Qmax : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m3/s).

C : coefficient de ruissellement.

I : intensité de pluie (mm /h).

A : la surface du bassin versant (km²).

- La méthode de TURAZZA ($A > 200$ km^2) : $Q_{max} = \frac{C \times P_{tc} \times A}{3{,}6 \times tc}$

Qmax : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m3/s).

tc : temps de concentration du bassin (en heures)

P_{tc} : pluie de durée tc et de période de retour voulue en mm

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV en Km².

Avec P_{tc} est calculé selon la formule de MONTANARI par $Ptc = 1.13 \times P_{J\,max} \left(\frac{tc}{24}\right)^b$

Telle que :

Pj max : pluies maximales journalières

b : paramètre climatique de la station.

X.1.5. APPLICATION AU PROJET

Application des calculs de débit pour les bassins 1,3,9 et 23

- **Bassin 01**

Tableau X.8: paramètres de bassin 01

A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	i (m/m)
23,76	26,79	10,70	1078	870	0,02

- Temp de concentration Tc :

5 km^2 < A= 23,76 km^2 < 25 km^2 donc on utilise la formule de PASSINI

$T_C = \frac{0,11\ (A \times L)^{1/3}}{\sqrt{i}} = \frac{0,11\ (23,76 \times 10,7)^{1/3}}{\sqrt{0,02}} = 4,92$ h

- Intensité de pluie

$I_{(tc\ ,\ 100)} = \frac{a\ (100)}{tc^b} = \frac{25,29}{4,92^{0,64}} = 9,12\ mm/h$

$I_{(tc\ ,\ 10)} = \frac{a\ (10)}{tc^b} = \frac{17,51}{4,92^{0,64}} = 6,32\ mm/h$

- Coefficient de ruissellement :

C = C_1 + C_2 + C_3

Pente = 2 % alors C_1 = 0,05

Sol peu perméable alors C_2 = 0,15

Prairie comme couverture végétale alors C_3 = 0,25

Donc C = 0,05+0,15+0,25 = 0,45

- Estimation de débit

A < 200 km^2 donc on utilise la formule rationnelle (A ≤ 200 km^2) : Qmax = 0,278×C×I×A

$Q_{10,\ max}$ = 0,278×C×I_{10} ×A = 0,278×0,45×6,32×23,76 = 18,79 m^3/s

$Q_{100,\ max}$ = 0,278×C×I_{100} ×A= 0,278×0,45×9,12×23,76 = 27,11 m^3/s

- **Bassin 03**

Tableau X.9: paramètres de bassin 03

A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	i (m/m)
1,06	3,92	1,4	900	865	0,03

- Temp de concentration Tc :

A= 1,06 km^2 < 5 km^2 donc on utilise la formule de VENTURA :

$T_C = 0,127\sqrt{\frac{A}{i}} = 0,127\sqrt{\frac{1,06}{0,03}} = 0,75$ h

- Intensité de pluie

$I_{(tc\ ,\ 100)} = \frac{a\ (100)}{tc^b} = \frac{25,29}{0,75^{0,64}} = 30,40\ mm/h$

$I_{(tc\ ,\ 10)} = \frac{a\ (10)}{tc^b} = \frac{17,51}{0,75^{0,64}} = 21,05\ mm/h$

- Coefficient de ruissellement :

$C = C_1 + C_2 + C_3$

Pente = 3 % alors $C_1 = 0,05$

Sol imperméable alors $C_2 = 0,26$

Roche $C_3 = 0,26$

Donc C = 0,05+0,26+0,26 = 0,57

- Estimation de débit

A $<$ 200 km^2 donc on utilise la formule rationnelle (A ≤ 200 km^2) : Qmax = 0,278×C×I×A

$Q_{10,\ max} = 0,278 \times C \times I_{10} \times A = 0,278 \times 0,57 \times 21,05 \times 1,06 = 3,54\ m^3/s$

$Q_{100,\ max} = 0,278 \times C \times I_{100} \times A = 0,278 \times 0,57 \times 30,40 \times 1,06 = 5,10\ m^3/s$

- **Bassin 09**

Tableau X.10: paramètres de bassin 09

A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	i (m/m)
149,58	56,87	7,56	1128	828	0,04

- Temp de concentration Tc :

25 km^2 $<$ A= 149,58 km^2 $<$ 200 km^2 donc on utilise la formule de GIANDOTTI

$T_C = \frac{4\sqrt{A}+1,5L}{0,8\sqrt{H}} = \frac{4\sqrt{149,58}+1,5\times7,56}{0,8\sqrt{150}} = 6,15$ h

$H = H_{moy} - H_{min} = [(H_{max} + H_{min})/2] - H_{min} = [(1128+828)/2] - 828 = 150$ m

- Intensité de pluie

$I_{(tc\ ,\ 100)} = \frac{a\ (100)}{tc^b} = \frac{25,29}{6,15^{0;64}} = 7,91\ mm/h$

$I_{(tc\ ,\ 10)} = \frac{a\ (10)}{tc^b} = \frac{17,51}{6,15^{0;64}} = 5,48\ mm/h$

- Coefficient de ruissellement :

$C = C_1 + C_2 + C_3$

Pente = 4 % alors C_1 = 0,08

Sol imperméable alors C_2 = 0,22

Roche C_3 = 0,3

Donc C = 0,08+0,22+0,3 = 0,6

- Estimation de débit

A < 200 km^2 donc on utilise la formule rationnelle (A ≤ 200 km^2) : Qmax = 0,278×C×I×A

$Q_{10,\ max}$ = 0,278×C×I_{10} ×A = 0,278×0,6×5,48×149,58 = 136,73 m^3/s

$Q_{100,\ max}$ = 0,278×C×I_{100} ×A= 0,278×0,6×7,91×149,58 = 197,35 m^3/s

- **Bassin 23**

Tableau X.11: paramètres de bassin 23

A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	i (m/m)
1143,94	247,062	84,25	1228	810	0,005

- Coefficient de ruissellement :

C = C_1 + C_2 + C_3

Pente = 0,5 % alors C_1 = 0,01

Sol (peu perméable + imperméable) alors C_2 = 0,5×0,2 + 0,5×0,3 = 0,25

Couverture végétale (pairie + labour champ + Roche) C_3 = 0,3×0,25 + 0,3×0,15 + 0,4×0,3

C_3 = 0,24

Donc C = 0,01+0,25+0,24 = 0,5

- Temp de concentration Tc :

On a une surface de 1143,94 km^2 donc on ne peut pas utiliser les méthodes déjà cite précédemment donc on a choisi une méthode proposée par Régis Bourrier $Tc=\frac{L}{1{,}36\sqrt{i\ (1+5\times C)}}$

Avec :

Tc en seconde / L en metre / i en %

Donc Tc = $\frac{84{,}25\times10^3}{1{,}36\sqrt{0{,}5\ (1+5\times0{,}5)}} \times \frac{1}{3600} = 13\ h$

- Pluie de durée tc : $P_{tc} = 1{,}13\times P_J \left(\frac{Tc}{24}\right)^b$

$P_{10\ tc}$ = 1,13× $P_{10\ J}$ $(\frac{13}{24})^{0,64}$ = 1,13× 23,9 ×$(\frac{13}{24})^{0,64}$ =18,24 mm

$P_{100\ tc}$ = 1,13× $P_{100\ J}$ $(\frac{13}{24})^{0,64}$ = 1,13× 44,8 ×$(\frac{13}{24})^{0,64}$ = 34,19 mm

- Estimation de débit

A > 200 km^2 donc on utilise la formule de TURAZZA : $Q=\frac{C\times P_{tc}\times A}{3,6\times tc}$

$Q_{10,\ max}=\frac{C\times P_{10\ tc}\times A}{3,6\times tc}=\frac{0,5\times 17,85\times 1143,94}{3,6\times 13}=222,92\ m^3/s$

$Q_{100,\ max}=\frac{C\times P_{100\ tc}\times A}{3,6\times tc}=\frac{0,5\times 33,47\times 1143,94}{3,6\times 13}=417,86\ m^3/s$

Le tableau suivant donne les calcule hydraulique des bassins versants le long du tronçon étudié :

Tableau X.12: les calcule hydraulique des bassins versants

N° BV	PK	A (Km^2)	Tc (h)	I_{10} (mm/h)	I_{100} (mm/h)	$Qmax_{10}$ (m^3/s)	$Qmax_{100}$ (m^3/s)
1	0+112	23,76	4,92	6,32	9,12	18,79	27,11
2	2+600	33,4	1,72	12,38	17,90	51,73	74,78
3	3+325	1,06	0,75	21,05	30,40	3,54	5,10
4	4+515	1,18	0,76	20,80	30,07	3,75	5,43
5	4+930	1,26	1,65	12,71	18,38	2,45	3,54
6	7+025	0,14	0,15	57,95	83,78	1,35	1,96
7	7+525	0,62	0,36	33,74	48,77	3,49	5,04
8	7+825	1,09	0,54	25,86	37,39	4,70	6,80
9	8+290	149,58	6,15	5,48	7,91	136,73	197,35
10	9+485	0,32	0,30	37,64	54,42	2,01	2,90
11	9+955	0,94	0,55	25,79	37,28	4,04	5,85
12	10+034	0,16	0,15	59,90	86,60	1,60	2,31
13	10+558	0,64	0,35	34,14	49,36	3,64	5,27
14	10+950	0,19	0,12	69,01	99,77	2,19	3,16
15	11+020	0,77	0,43	30,08	43,49	3,86	5,59
16	12+150	0,64	0,47	14,15	26,52	1,51	2,83
17	12+460	0,25	0,29	19,17	35,94	0,80	1,50
18	13+045	0,28	0,27	20,12	37,71	0,94	1,76
19	13+200	0,2	0,15	29,52	55,34	0,98	1,85
20	13+550	0,12	0,10	39,08	73,25	0,78	1,47
21	13+900	0,18	0,12	32,94	61,74	0,99	1,85
22	14+575	7,88	2,36	5,00	9,38	6,03	11,30
23	15+212	0,27	0,32	17,88	33,51	0,81	1,51
24	15+930	1143,94	13	1,68	3,15	222,92	417,86

X.2. ETUDE D'ASSAINISSEMENT

X.2.1. ASSAINISSMENT TRANSVERSAL

Pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques utilisés pour évacuer les eaux se fait par la méthode de MANNING STRICKLER en calculant leur débit de saturation par la formule suivante :

$$Q_S = K_{st} \times S_m \times Rh^{3/4} \times i^{1/2}$$

i : Pente de pose de l'ouvrage (m.p.m)

S : Section mouillée (m2)

Rh : Rayon hydraulique moyen avec : $R = \frac{\text{section mouillée}}{périmetre\ mouillé}$

K_{st} = 60

Tableau X.13: Coefficients de MANNING-STRICKLER

Nature de la surface	Ks
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Béton (dalots)	70
Béton (Buses préfabriquées)	80

X.2.1.1. Hauteur de remplissage :

Hr = 0.80 H si H≤2.5 m ; Hr = H-0.5 si H>2.5 m

X.2.1.2. Dimensions des ouvrages :

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

- Qa < Qs

Qa : débit d'apport (m3/s).

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

- La vitesse doit respecter les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :

Ouvrage en béton : la vitesse doit être inférieure ou égale 4 m/s.

Ouvrages métalliques : la vitesse doit être inférieure ou égale 2.5 m/s

X.2.1.3. EXEMPLE D'APPLICATION

Bassin 1 : Dalot

- Qa=27,11m^3/s
- Nombre de cellules n=2
- i=0,5%
- Coefficient de MANNING-STRIKLER k=70

En utilisant la formule de Manning –Strickler, sachant que : Rh = $\frac{Sm}{Pm} = \frac{Hr \times b}{2 \times Hr + b}$

Hr : hauteur de remplissage

On a H≤2.5m donc Hr=0.8 H

En utilisant la formule de Manning –Strickler on calcul Qs telle que Qa ≤ 2×Qs

Qs =70× $i^{1/2} \times \frac{Sm^{7/4}}{Pm^{3/4}}$

- 1er iteration pour (2×2,5)

Hr = 0,8×H= 2 m ; Sm= Hr×b = 2×2 = 4 m^2 ; Pm= 2×Hr +b= 2×2 + 2 = 6 m

Alors Qs = 14,61 m^3/s

2×Qs = 29,22 m^3/s > Qa=27,11m^3/s

Vps =$\frac{Qa}{Sm}$ = 3,39 m/s

Vérification :

- Vérification de la vitesse d'écoulement

Vps=3.39 m/s < 4m/s condition vérifiée.

- Vérification de l'écoulement fluvial

$H_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \times g}} = \sqrt[3]{\frac{14,61^2}{2^2 \times 10}}$ = 1,75 m < H = 2,5 m alors l'écoulement est fluvial

- Vérification d'auto curage avec Vps= 3,19 m/s

1ère condition : $V_{écoulement}$ > 0,6 m/s Pour $\frac{Qa}{Qps}$ = 0,1

$\frac{Qa}{Qps}$ = 0.1 alors $\frac{V}{Vps}$ = 0,64 donc V= 0,64×Vps = 0,64×3,19 = 2,04 m/s Condition vérifiée

2ème condition : $V_{écoulement}$ > 0,3 m/s Pour $\frac{Qa}{Qps}$ = 0,01

$\frac{Qa}{Qps}$ = 0.01 alors $\frac{V}{Vps}$ = 0,32 donc V= 0,32×Vps = 0,32×3,19 = 1,02 m/s Condition vérifiée

Le tableau X.14 nous présente les dimensions des ouvrages d'assainissement transversal :

Tableau X.14: les dimensions des ouvrages d'assainissement transversal

N° BV	PK	Q projet (100) (m^3/s)	Dimensions projeté bxh (mxm)	Tirant d'eau Hr(m)	Pente de l'O.H %	Q_{sat} m^3/s	Description constructive
1	0+112	26,85	2x (2x2.50)	2	0,5	29,22	Dalot
2	2+600	54,78	2x (3.00x3.00)	2,4	0,5	67,12	Dalot
3	3+325	5,10	1x (1.50x1.50)	1,2	0,6	5,47	Dalot
4	4+515	5,43	1x (1.50x1.50)	1,2	0,6	5,47	Dalot
5	4+930	3,54	1x Ø1500	1,2	0,5	4,16	Buse
6	7+025	1,96	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
7	7+525	5,04	Viaduc	_	_	_	Viaduc
8	7+825	6,80	Viaduc	-	-	-	Viaduc
9	8+290	197,35	Viaduc	_	_	_	Viaduc
10	9+485	2,90	1x Ø1500	1,2	0,5	4,16	Buse
11	9+955	5,85	1x (2.00x1.50)	1,2	0,5	7,54	Dalot
12	10+034	2,31	1x Ø1200	0,96	0,6	2,47	Buse
13	10+558	5,27	1x (2.00x1.50)	1,2	0,5	7,54	Dalot
14	10+950	3,16	1x Ø1500	1,2	0,5	4,16	Buse
15	11+020	5,59	1x (2.00x1.50)	1,2	0,5	7,54	Dalot
16	12+150	2,83	1x Ø1500	1,2	0,5	4,16	Buse
17	12+460	1,50	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
18	13+045	1,76	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
19	13+200	1,85	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
20	13+550	1,47	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
21	13+900	1,85	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
22	14+575	11,30	1x (2.00x2.00)	1,6	0,6	12,06	Dalot
23	15+212	1,51	1x Ø1200	0,96	0,5	2,25	Buse
24	15+930	417,86	-	-	-	-	Ouvrage d'Art

❖ **Remarque**

Pour les bassins qui ont un débit de transit faible on a décidé de surdimensionner l'ouvrage hydraulique et mettre des dalots de (2.00x2.00) pour les rendre comme des passages sous la voie pour le déplacement de tous les animaux qu'ils sont affectés par ce projet.

Ces bassins sont 5,6,10,12,16,17,18,19,20,21 et 23

X.2.2. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL

Pour la conception générale du système de drainage longitudinal, on a adopté les principes suivants :

Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai ou de remblai, pour évacuer les eux vers les exutoires naturels ou vers les ouvrages hydrauliques transversaux.

On utilise le cas le plus défavorable, où il y a un déblai ou un remblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante.

X.2.2.1. Le débit à évacuer :

Pour la détermination de l'intensité des averses, on a considéré une période de retour de 10 ans. Ainsi, pendant la grande partie de la vie utile du système de drainage, les débits entrants seront très inférieurs à ceux du dimensionnement

Le débit à évacuer est obtenu par la méthode rationnelle : $Q_{ev}=(C\times I\times A)/3,6$

Avec

Q_{ev} est exprimé en m3/s

C = coefficient de ruissellement

A = surface de l'impluvium en km2

I = intensité moyenne de l'averse décennale en mm/h correspondant au temps de concentration au point de calcul et donné par la formule de MONTANA : $I = a \times tc^{-b}$ (tc en h)

X.2.2.2. Le débit de saturation :

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$Q = K_{st}\times S_m\times R_h^{3/4}\times i^{1/2}$$

Avec :

Q : Débit

S_m : Superficie de section du dalot

K_{st} = 60

Rh : Rayon hydraulique

i : Pente

Le dimensionnement est fait en appliquant les hypothèses suivantes :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 50 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier)
- La pente longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie
- La forme de construction est un profil trapézoïdal avec déclivité du talus 2/3

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux conditions suivantes

$$Qev \leq Qs$$

X.2.2.3. APPLICATION AU PRPJET

On propose un fossé de section trapézoïdal, avec une largeur totale de 1,50 m, un talus de (1H : 1V), une largeur au fond de 0.50 m et la profondeur totale sera 0,50 m.

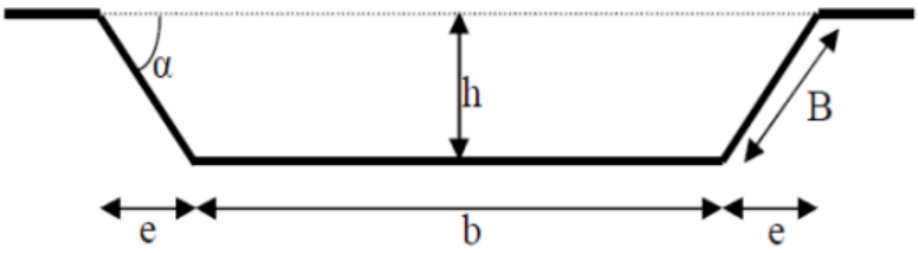


Figure X.3: Les dimensions d'un fossé trapézoïdale

Sm= $\frac{(b+b+2e)\times h}{2}$ = h×(b+e) = 0,5× (0,5+0,5) = 0,5 m^2

Pm = b + 2B = b + 2 ×$\sqrt{e^2 + h^2}$ = 1,91 m^2

- **Pour déblai** i=0,016 alors Qs =50× $i^{1/2}$× $\frac{Sm^{7/4}}{Pm^{3/4}}$ = 1,16 m^3/s

Calcule des débits d'apport

Tableau X.15: Estimation des débits pour déblai

Cas plus défavorable pour déblai L=1210 m						
Bassin	Surface (km^2)	Pente (m/m)	C	Tc (h)	I (mm/h)	Q (m^3/s)
Talus	0,01794	0,67	0,6	0,02	214,11	0,64
Berme	0,00036	0,04	0,6	0,01	333,65	0,02
Plateforme	0,00814	0,04	0,95	0,06	105,99	0,23

Q_{ev} = 0,64+0,02+0,23= 0,89 m^3/s < Q_s = 1,16 m^3/s

- **Pour remblai :** i=0,014 alors Qs =50× $i^{1/2}$× $\frac{Sm^{7/4}}{Pm^{3/4}}$ = 1,08 m^3/s

Calcule des débits d'apport

Tableau X.16: Estimation des débits pour remblai

Cas plus défavorable pour remblai L=539 m						
Bassin	Surface (km^2)	Pente (m/m)	C	Tc (h)	I (mm/h)	Q (m^3/s)
Talus	0,0067	0,67	0,55	0,01	333,65	0,34
Berme	0,00016	0,04	0,55	0,008	384,87	0,01
Plateforme	0,0036	0,04	0,95	0,04	137,39	0,13

Q_{ev} = 0,34+0,01+0,13= 0,48 m^3/s < Q_s = 1,08 m^3/s

Donc Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.5m, b=0.5m, α=45°

X.3. CONCLUSION

A partir de l'étude hydrologique le trace comporte :

- 22 ouvrages hydrauliques
- Un fossé de h=0.5m, b=0.5m le long du tracé sur les deux côtes de la voie.

CHAPITRE XI:

DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE ET PROFIL EN TRAVERS

XI.1. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

XI.1.1. INTRODUCTION

Le dimensionnement du L'infrastructure de la voie ferrée est la chose la plus importante dans l'étude ferroviaire pour assurer le bon comportement de la voie ferrée.
La structure d'assise est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose.il Assure :

- Rigidité de la voie.
- Le drainage des eaux de pluie.
- La répartition les charges exercées par les traverses sur la plate-forme

Elle comprenne la couche de ballast et la sous-couche.

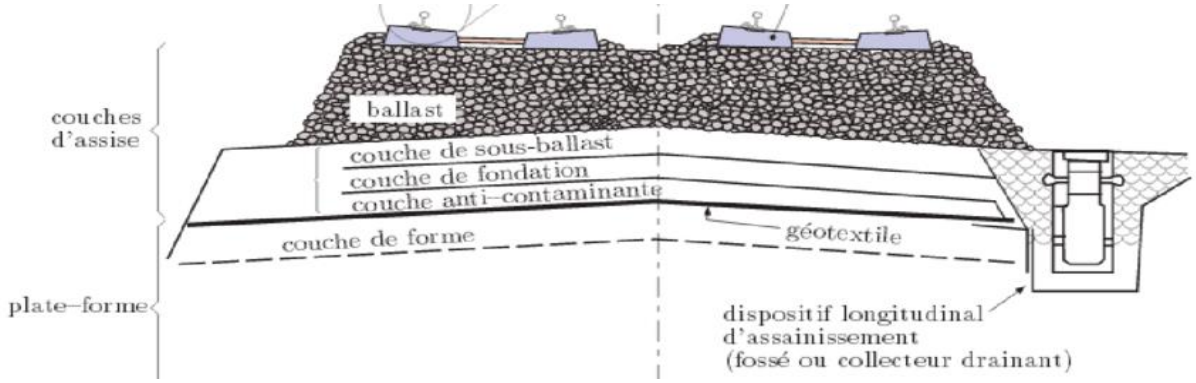


figure XI.1: profil en travers de l'assise ferroviaire

XI.1.2. COMPOSITION DE LA STRUCTURE D'ASSISE

XI.1.2.1. Le ballast

On appelle ballast le lit de pierres sur lequel repose une voie de chemin de fer. Son rôle est de Répartir la charge entre les traverses et la plate-forme, transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement. Le rôle du ballast est aussi d'enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, Assurer un drainage immédiat vis-à-vis de l'eau tombant sur la voie, Amortir les vibrations. On utilise généralement de la pierre concassée, de granulométrie variante entre 25 mm et 50mm, de type plutonique : granite, diorite, etc. On utilise du gravillon fin (10 mm à 35 mm) pour le nivellement.

XI.1.2.1.1. Les engins

- **Régaleuse de ballast**

  -Cet engin automoteur exécute la répartition du ballast déchargé lors des travaux de construction ou d'entretien des voies en respectant les profils réglementaires.



Figure XI.2: Régaleuse de ballast

- **Bourreuse mécanique**

-La machine agit par l'intermédiaire de battes métalliques vibrantes, les bourroirs, qui sont plongées de chaque côté des traverses et qui compriment la couche de ballast par serrage mécanique. La double action vibratoire et compressive constitue le bourrage.
-L'opération est réalisée en même temps qu'une rectification du tracé, du nivellement longitudinal et transversal (dévers) de la voie. Cette rectification intervient en relevant le niveau de chaque file rail puisqu'il est impossible de l'abaisser.



Figure XI.3: Bourreuse mécanique

XI.1.2.1.2. Caractéristique du ballast

XI.1.2.1.2.1. Caractéristiques physiques

- **Granulométrie :** on utilise actuellement en Algérie la 25/50mm (documents **SNTF**)
- **Formes des granulats :** elle doit être poly hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.
- **Homogénéité des granulats :** un ballast hétérogène (âge et dureté différents) s'altère très rapidement.
- **Propreté des granulats :** le ballast doit être exempte des éléments fins et débris.
- **Perméabilité :** Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie pour éviter forme la boue qui gênent la circulation des trains a cause de le mal appui des les traverses sur le sol.
- **Densité :** pour mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

XI.1.2.1.2.2. Caractéristiques mécaniques

- **Résistance à l'attrition :** sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, en raison de frottement de granulat de ballast aux points de contact entre eux, se produisent une usure. Ce fait se reproduit en laboratoire sous le nom **ESSAI DEVAL.**

Le coefficient Deval selon le document de SNTF :

Tableau XI.1: le coefficient Deval selon le document de SNTF

Deval sec DS	> **14 pour les pierres dures (ballast)**
Deval humide DH	>**1 2** pour les calcaires (pierres carbonatées)

- **La dureté :** Elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale, Pour notre ballaste il faut :

Tableau XI.2: la dureté relative globale pour notre ballaste

la dureté relative globale DRG	**>18**

- ✓ Il varie selon la nature des traverses et du trafic

- **Résistance à la compression simple :** Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures. En effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression RC suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai uniaxial en laboratoire.

Après le document de SNTF, En Algérie on doit avoir :

Tableau XI.3: résistance à la compression RC après SNTF

résistance à la compression RC	**> 12KN/cm2**

- **Résistance aux chocs :** Sous l'effet des contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, donc il faut réalise l'essai LOS ANGELES pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats.

Pour un ballast acceptable le coefficient LA :

Tableau XI.4: le coefficient LOS ANGELES LA

LOS ANGELES LA	**<25%**

XI.1.2.2. La sous-couche

C'est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme.

XI.1.2.2.1. Les rôles de la sous-couche

- ✓ Protection contre l'érosion et le gel.
- ✓ L'évacuation des eaux.
- ✓ Meilleure réparation des chargements.
- ✓ Elle assure une transition de granularité entre le ballast et la plateforme, évitant la contamination du ballast.

XI.1.2.2.2. Constituant de la sous-couche

XI.1.2.2.2.1. Sous-ballast

c'est une couche en grave propre bien graduée 0/31,5 mm comportant au moins 30 % de concassé, compacté a 100 % OPN. On utilise cette couche dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses.

- **Le rôle de sous ballast**

✓ Elle joue un rôle d'une couche d'égalisation.
✓ La contribution du minimisation la raideur de l'assisse.

XI.1.2.2.2.2. Couche de fondation

Elle est composée de grave bien graduée d'une épaisseur d'au moins de 15 cm Compactée a 100% OPM.

❖ La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les sols de classe **QS3.**

- **Le rôle de couche de fondation**

Elle est permet la circulation des engins de chantiers.

XI.1.2.2.2.3. La couche anti-contaminant

Cette couche est en sable propre comportant éventuellement une feuille de feutre synthétique (géotextile).

❖ On utilise cette couche seulement sur plate-forme de classe **P1.**

- **Le rôle de couche anti-contaminant**

Il assure le drainage à la surface de la plateforme.

XI.1.2.3. La plate-forme

- La plate-forme de la voie est constituée de sol rapporté (remblai) ou en place (déblai), elle constitue l'élément de support de la superstructure de la voie ferrée.
- La couche de forme correspond à la couche qui est placée sur la partie supérieure de remblais.
- Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est constituée soit du même sol que le corps de remblai soit d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM.
- Parfois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques.
- Dans le cas d'un déblai, la couche de forme est obtenue par compactage à 95 % OPM sur une épaisseur minimale de 30 cm. Cependant, on peut prévoir un apport de sol de qualité meilleure ou un traitement aux liants de la couche supérieure du sol en place.
- Le sol constituant la plate-forme doit remplir plusieurs fonctions :
  - La réparation des charges reçues par la superstructure.
  - La protection contre la pénétration du ballast par les limons et par les argiles provenant du sol.
  - Rabattement des eaux souterraines.
  - L'amortissement des vibrations résultant de la circulation des véhicules.
  - L'évacuation des eaux de ruissellement et zénithales vers L'assainissement.

- Le sous-ballast, la couche de fondation, la couche anti- contaminant et la couche de forme doivent être posés en pente transversale afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement.
  - ✓4% pente normale.
  - ✓3% pente posée dans les zones de désert.
  - ✓5% pente posée dans les zones littorales.

XI.1.2.3.1. Les différentes qualités du sol selon UIC

Tableau XI.5: Les différentes qualités du sol selon (UIC 719R).

qualités	Définition
QS0	Sols « impropres » à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles renforcement par pieux.) Pour cette raison, ces sols ne sont pas mentionnés ici lors du dimensionnement des couches d'assise et couche de forme.
QS1	Mauvais sols acceptables tel quel, 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.

XI.1.2.3.2. Classe de portance de la plateforme

il existe 3 types de plateforme en fonction de la qualité de leur portance :

- P1 : plateforme médiocre.
- P2 : plateforme moyenne.
- P3 : plateforme bonne.

Tableau XI.6: les classes de portance de la plateforme (UIC719R)

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale ef (m)
QS1	**P1**	**QS1**	**-**
	P2	**QS2**	**0.50**
	P2	**QS3**	**0.35**
	P3	**QS3**	**0.50**
QS2	**P2**	**QS2**	**-**
	P3	**QS3**	**0.35**
QS3	**P3**	**QS3**	**-**

XI.1.2.3.3. Epaisseur des couches d'assise

L'épaisseur de la couche d'assise « e » est donnée par la formule :

e = E +a + b +c + d +f+g (**Normes UIC 719 R p .57**)

Tableau XI.7: Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g

Paramètres de dimensionnement	Valeurs	Conditions
E	**E=0.70m** **E=0.55m** **E=0.45m**	➢ **pour les plateformes de classe de portance P1.** ➢ **pour les plateformes de classe de portance P2.** ➢ **pour les plateformes de classe de portance P3.**
a	**a= 0 m** **a= -0.05m** **a= -0.10 m** **a= -0.15 m**	➢ **pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V ≥ 160 km/h quel que soit le - groupe UIC)** ➢ **pour les groupes UIC 3 et 4** ➢ **pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs** ➢ **pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageurs**
b	**b=0** **b= (2.5-L)/2**	➢ **pour les traverses bois de longueur 2.60m.** ➢ **pour les traverses béton de longueur L.**
c	**c=0** **c=0.1m** **c= 0.05m**	➢ **pour un dimensionnement normal** ➢ **à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur"** ➢**à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageurs"**
d	**d= 0** **d= +0.05m** **d= +0.10m**	➢ **lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN** ➢ **lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN** ➢ **lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN**
f	**f=0** **f=0.05m** **f= 0.10m**	➢ **pour toutes les lignes à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portance PF3 des lignes à grande vitesse.** ➢**pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse.** ➢ **pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse**
g	**g=+ géotextile** **g=0 géotextile**	➢ **lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.** ➢**lorsque la couche de forme est en sol QS3.**

- ✓ E : facteur dépendant des classes de portance de la plate-forme (P1, P2 ou P3).
- ✓ a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714).
- ✓ b : facteur dépendant de type de traverse.
- ✓ c : facteur dépendant des conditions de travail (type de dimensionnement).
- ✓ d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules remorqué.
- ✓ f : facteur dépendant de la vitesse.
- ✓ g : facteur dépendant de l'installation de géotextile

L'épaisseur minimale de l'assise (ballast + sous-couche) dépend des paramètres suivants

- La classe de portance de la plate-forme.
- L'armement de la voie.
- Les caractéristiques du trafic.

XI.1.3. APPLICATION AU PROJET

- **Couche de forme**

A partir des résultats de l'étude géotechnique qui est faite pour notre tracé on à conclue que notre sol est de classe QS1 (mauvais sol). Pour augmenter la portance de la plateforme on prévoie une couche de forme de classe de portance P3 composant du sol de classe de qualité Qs3.
Alors, d'après le tableau précédent l'épaisseur de la couche de forme est de **0.50m.**

- **Détermination épaisseur des couches d'assise**

Dans notre projet on a :

- Un mauvais sol donc classe de qualité du sol est **QS1.**
- Plateforme bonne **P3** ⟹ **E=0.45m**
- Notre ligne est de groupe **UIC 4/5 avec voyageurs** ⟹ **a= -0.10m**
- Les traverses sont en béton de longueur L=2.24m ⟹ $\mathbf{b=\frac{2.5-L}{2}}$
  - ✓ $\mathbf{b=\frac{2.5-2.24}{2}=0.13m}$
- Un dimensionnement normal ⟹ **c=0m**
- La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est **200** KN ⟹ **d=0m**
- On à V ≤ 160 km/h et plate-forme de portance PF3 ⟹ **f=0m**
- La couche de forme est en sol QS3 ⟹ **g=0m**

Donc **e = E +a + b +c + d +f+g=0.45-0.10+0.13+0+0+0+0=0.48m**
Nous avons pris la valeur de : **e = 0.50 m.**

- **Calcul de l'épaisseur du ballast**

D'après fiche UIC-719 R:

- ✓ on a une vitesse égale 160 km/h comprise entre 120 et 200 km/h donc l'épaisseur du ballast est **0.30m.**

Donc :

- **Ballast : 30 cm**
- **Sous-ballast : 20cm**
- **Couche de forme** de type **QS3** : de **50 cm** compacté à 100 % de la densité sèche correspondant à l'optimum Proctor normal.
  - **Épaisseur totale : 100cm**

- ✓ **L'épaisseur des différentes couches**

Tableau XI.8: L'épaisseur des différentes couches

couche	Epaisseur en (cm)	Matériaux
Ballast	30	Ballast 25/50 mm
Sous-ballast	20	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de forme	50	GNT

XI.1.4. SYNTHES

À l'aide de ce dimensionnement on peut mettre en évidence les épaisseurs et la structure des différentes couches qui vont supporter la charge transmise par le matériel roulant, assurer le drainage des eaux, et protéger le sol support.

XI.2. PROFIL EN TRAVERS

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie, l'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

XI.2.1. Les différents types de profil en travers

On le distingue en deux types

XI.2.1.1. Profil en travers type

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc.…).

XI.2.1.2. Profil en travers courant

S'applique au PK indiqué, prend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment la cote du terrain naturel, la cote de projet et le dévers de la plateforme.

XI.2.2. Les éléments du profil en travers

XI.2.2.1. La plateforme

Il est conseillé de réaliser une plateforme à partir d'une succession des couches des matériaux parfaitement compactés, sur laquelle reposera la voie, à savoir : les rails, les traverses le ballast ainsi que le train lui-même.

La plate-forme reçoit les charges transmises par l'intermédiaire du ballast, 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.

XI.2.2.2. L'Emprise

C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine public.

XI.2.2.3. Assiette

C’est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

XI.2.2.4. La voie

C’est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

XI.2.2.5. La berme

Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations...). Sa largeur dépend de l’espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

XI.2.2.6. Le fossé

C’est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie

XI.2.3. Les profils en travers affectés au projet

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

- Type de ligne : Voie unique mixte.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme :8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Largeurs de la berme : 0.30 m.
- Pente latérale de la berme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3/2, (3H et 2V).
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 50 cm.
- Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
- Fossé trapézoïdale (b= 0.5 m ; h= 0.5 m).

❖ **Remarques**

En cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c’est l’épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.

XI.3. CONCLUSION

Le bon dimensionnement du profil en travers et la couche d’assise tout en respectant les normes permettre à la voie de supporter et transmettre la charge provoquée par le matériel roulant, et garantir une longue durée de vie.

CHAPITRE XII :

LES OUVRAGES D'ART ET LES OUVRAGES EN TERRE

XII.1. LES OUVGARES D'ART

XII.1.1. INTRODUCTION

Pour avoir un bon tracé ferroviaire il faut que ce projet soit économique et technique. Donc pour éviter plusieurs obstacles comme la Traverse de la ligne ferroviaire avec les oueds ou les montagnes ou le croisement avec une route essentielle il faut trouve des solutions. La solution la plus intéressent c'est fait les ouvrages d'arts suivants :

- ✓ Les pont rails (passage inférieur)
- ✓ Les ponts routiers (passage supérieur)
- ✓ Les ouvrages hydrauliques.
- ✓ Les tunnels.

XII.1.2. L'INFLUENCE SUR LE CHOIX DE L'OUVRAGE

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

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

XII.1.3. LES CROISEMENTS AVEC LA ROUTE

Lors de la planification de la construction d'un chemin de fer, nous sommes confrontés au problème du croisement du chemin de fer avec la route, il faut donc trouver des solutions tenant compte de la nature et du débit de la voie. L'analyse au cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale doit être faite.
On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- ➢ **Passage inférieur :** On appelle passage inférieur un ouvrage de franchissement à un niveau inférieur d'une route ou d'une voie ferrée.
  - ❖ On utilisent un passage inferieur si la vitesse de train est importante >100km/h et si la topographie et nature de zone ne le permet.



Figure XII.1: Passage inférieur

- **Passage supérieur :** On appelle passage supérieur un ouvrage de franchissement à un niveau supérieur d'une route ou d'une voie ferrée ou d'un canal.
  - C’est rarement utilisable, c’est lorsque la topographie ou bien la nature de site l’exige.



Figure XII.2: Passage supérieur

- **Passage à niveau :** lorsqu'il y a un Croisement d’une route et de rails de chemin de fer. Ces passages peuvent être protégés par des barrières, des feux et un signal sonore ou simplement d’un stop. Le passage à niveau est pour les routes de faible débit surtout.



Figure XII.3: Passage à niveau

  - ✓ Pour notre projet la vitesse du train étant de **160 km/h** donc on évitera les passages à niveau.

XII.1.4. APPLICATION AU PROJET

Les ouvrages d'arts dans notre tronçon Tissemsilt-Colonel Boughara
Pk 00+00 au Pk 20+00 :

Tableau XII.1: les ouvrages d'arts dans notre tronçon

PK	TYPE D'OUVRAGE	LONGUEUR (m)
00+200	Pont Rail	12.7
02+410	Pont Rail	17.8
03+810	Pont Rail	12
04+425	Pont Rail	11.6
07+375 au 7+900	Pont Rail	528
08+050 au 08+575	Pont Rail	528
09+600	Passage supérieur	24.2
10+800	Pont Rail	11.3
13+475	Passage supérieur	11.3
15+400	Passage supérieur	18.5
15+875 au 16+000	Pont Rail	102
16+675	Pont Rail	11.3
18+730	Passage supérieur	25.8

XII.2. LES OUVRAGES EN TERRE

XII.2.1. INTRODUCTION

Après le terrassement de notre tracé (étude et exécution des ouvrages en terre) nous sommes confrontés à plusieurs problèmes géologiques (glissements, tassement des remblais, ...) qui affecte Sur la sécurité de la ligne ferroviaire, donc il faut suivi et protéger le tracé contre ces problèmes.

XII.2.2. LES TALUS

Un talus est une surface pentue de terrain résultant de travaux de terrassement lors de la construction d'une route ou une ligne ferroviaire.

Il existe deux types de talus :

- ✓ Talus en remblai
- ✓ Talus en déblai

- ➢ Dans le cas d'un talus non stable, il peut se produire un glissement de terrain ou une rupture de talus

XII.2.3. METHODE DE PROTECTION LES TALUS

XII.2.3.1. Terrassements

Terrassements Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement :

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai drainant en pied.
- Les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage.
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

XII.2.3.2. Les ouvrages de soutènement

Les ouvrages de soutènements sont ceux qui retiennent des terrains. Le matériau est retenu par l'ouvrage s'il est maintenu à une pente plus raide que celle qu'il adopterait éventuellement si aucun ouvrage n'était présent. Les ouvrages de soutènement comprennent tous les types de murs et de systèmes d'appui dans lesquels des éléments de structure subissent des forces imposées par le matériau soutenu.

XII.2.3.2.1. Les caissons végétalisables

Ils sont souvent utilisés comme soutènement routier ou piéton, soutènement de talus, comme mur anti-bruit ou encore mur parasismique.

- Il s'intègre facilement à l'environnement naturel.
- On peut réaliser de grandes structures.
- Les caissons permettent une personnalisation totale de l'ouvrage. On peut y intégrer toute sorte de végétaux ou autres éléments de décoration.
- L'ouvrage en caisson est très stable.
- Le drainage est efficace.
- Le mur s'adapte parfaitement aux caractéristiques du terrain et du sol.



Figure XII.4: Les caissons végétalisables

XII.2.3.2.2. Les gabions

Les murs en gabions sont le plus souvent construits pour des soutènements routiers ou des soutènements de talus. Ces ouvrages en gabions permettent d'y intégrer des mobiliers urbains. Ce type de mur de soutènement poids est très avantageux :

- C'est un ouvrage soigné esthétiquement et moderne, qui s'intègre parfaitement à l'environnement, et qui laisse sa place à la végétalisation.
- Son installation est simple. Plus encore si vous avez recours à des gabions pré remplis.
- Le drainage est efficace.
- Par sa souplesse et la facilité d'installation, il est modulable et adaptable au terrain. Il est possible de personnaliser le mur en lui donnant une certaine forme et une certaine hauteur.



Figure XII.5: Mur en gabions

XII.2.3.2.3. La terre armée

La terre armée est une méthode imaginée par Henri Vidal. Sa mise en œuvre consiste à associer des couches de remblais compactés et des lits d'armatures métalliques ou synthétiques non-corrosive.

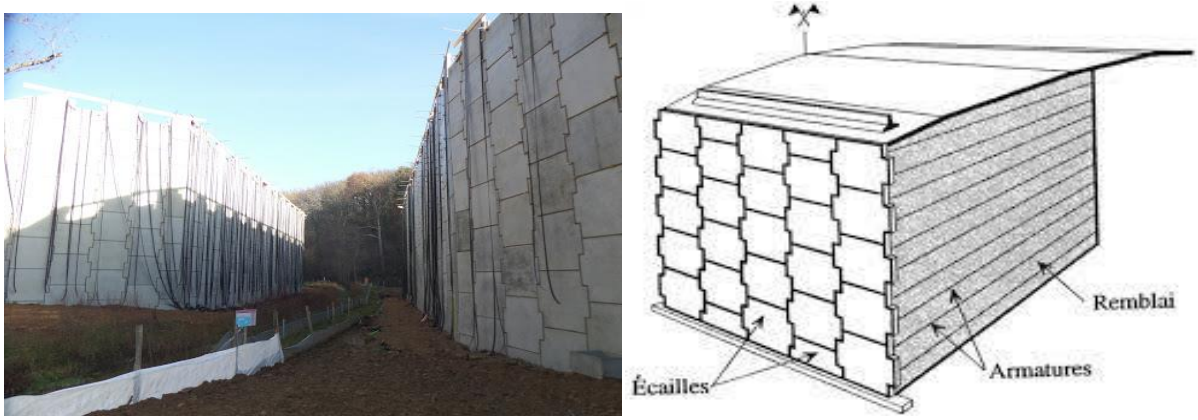


Figure XII.6: La terre armée

XII.2.3.2.4. Ouvrage maçonné

Ce type d'ouvrage maçonné est la plupart du temps conçu pour des soutènements de talus, ou encore pour des aménagements urbains. En voici quelques avantages :

- Construction simple et rapide.
- Ne nécessite pas de matériaux trop complexes.
- Son installation est peu coûteuse.
- Son installation ne nécessite pas beaucoup de mains d'œuvre.



Figure XII.7: Ouvrage maçonné

XII.2.3.2.5. Enrochements

On utilise enrochements dans les travaux de terrassement lorsqu'il s'agit de maintenir la terre d'un terrain en pente par soutènement afin d'éviter les glissements de terrain, de protéger un terrain de l'érosion ou tout simplement dans un but paysager.

Ce sont des ouvrages de protections par blocs rocheux des pieds des talus, ces ouvrages doivent protéger les bases de remblai en zones inondables contre les actions agressives des crues.



Figure XII.8: Enrochement

XII.2.3.3. Drainage

La lutte contre l'eau est l'une des actions les plus efficaces pour prévenir, stabiliser ou ralentir un glissement de terrain.
Il y a plusieurs méthodes de drainage parmi eux la méthode de masque poids drainant.

XII.2.3.3.1. Masque poids drainant

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus, leur rôle est d'intercepter les arrivées d'eau dans les talus d'un déblai. Il peut également agir comme massif de retenue afin d'accroître la stabilité générale auquel cas il fait office de masque poids drainant. Ils peuvent être utilisés dans les déblais réalisés (même temporairement) sous le niveau de la nappe phréatique : il contribue au rabattement de la nappe, à la stabilité du talus et à l'assainissement de la plate-forme.



Figure XII.9: Masque poids drainant

XII.2.4. APPLICATION AU PRPJET

Un exemple d'un traitement un talus de déblai avec la méthode de Masque poids drainant

Traitement du talus de déblai PK3+100 au PK3+550 :

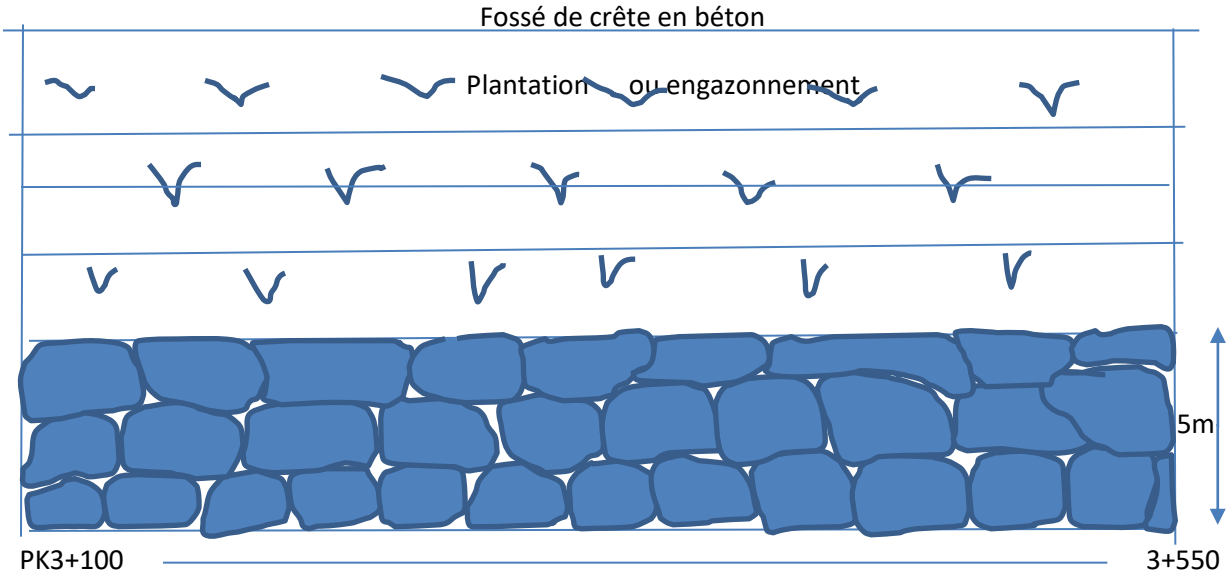
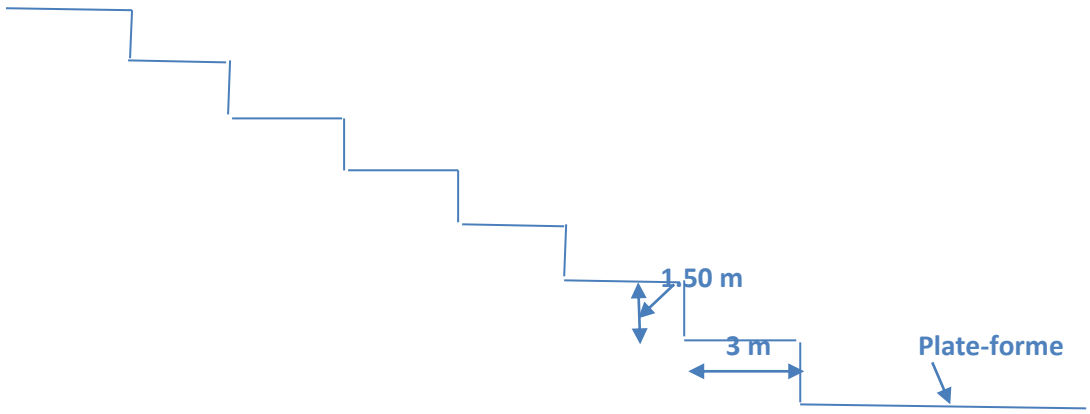


Figure XII.10: Vue en plan du traitement en masque poids drainant

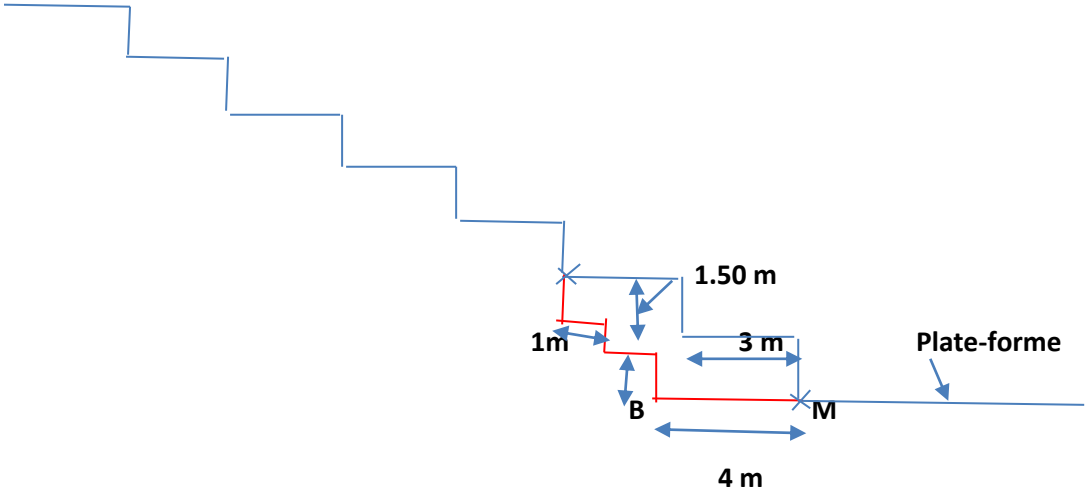
Schémas de phasage des travaux

1) **<u>PHASE 1 :</u> Etat actuel du talus de déblai composé de 06 redans et plate –forme ferroviaire en aval.**



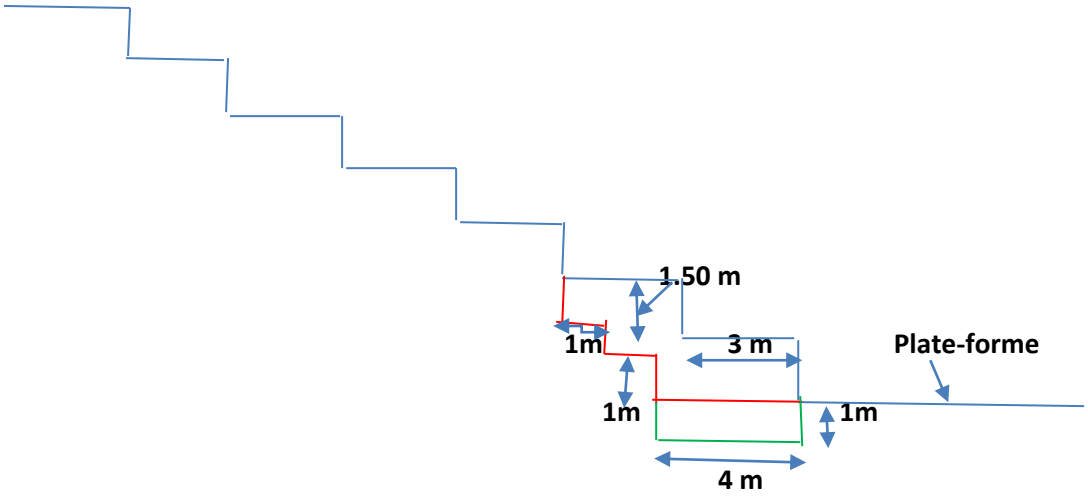
- Les dimensions de chaque redan sont considérées les mêmes soit h = 1.50 m, largeur = 3 m.

2) **PHASE 2 : Déblaiement des 02 premiers redans initiaux et construction de redans nouveaux pour le masque poids drainant**



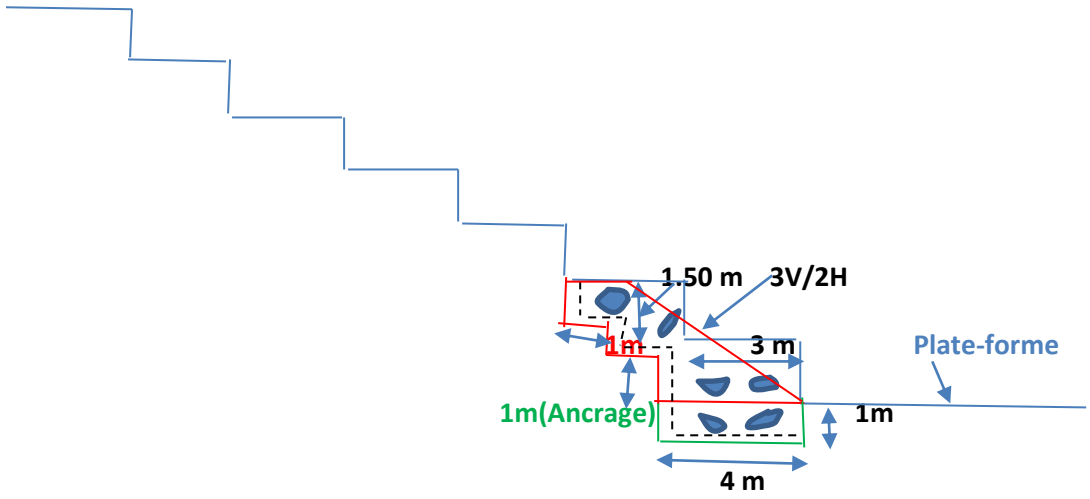
A partir du point M, il faut entrer de 4 m, ensuite il faut construire les redans de 1 m de hauteur et 1 m de largeur jusqu'au point B

3) PHASE 3 : Terrassement de la profondeur d'ancrage de la fondation du masque poids drainant



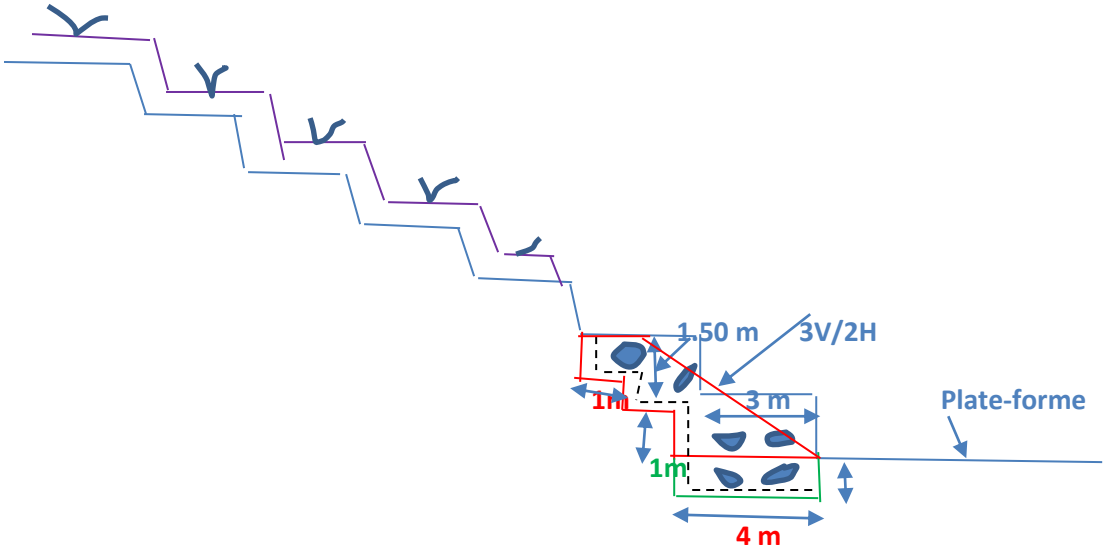
Il y a lieu de procéder à la réalisation d'une tranchée d'ancrage de 1 m de profondeur

4) PHASE 4 : Pose du géotextile de filtration et enrochement



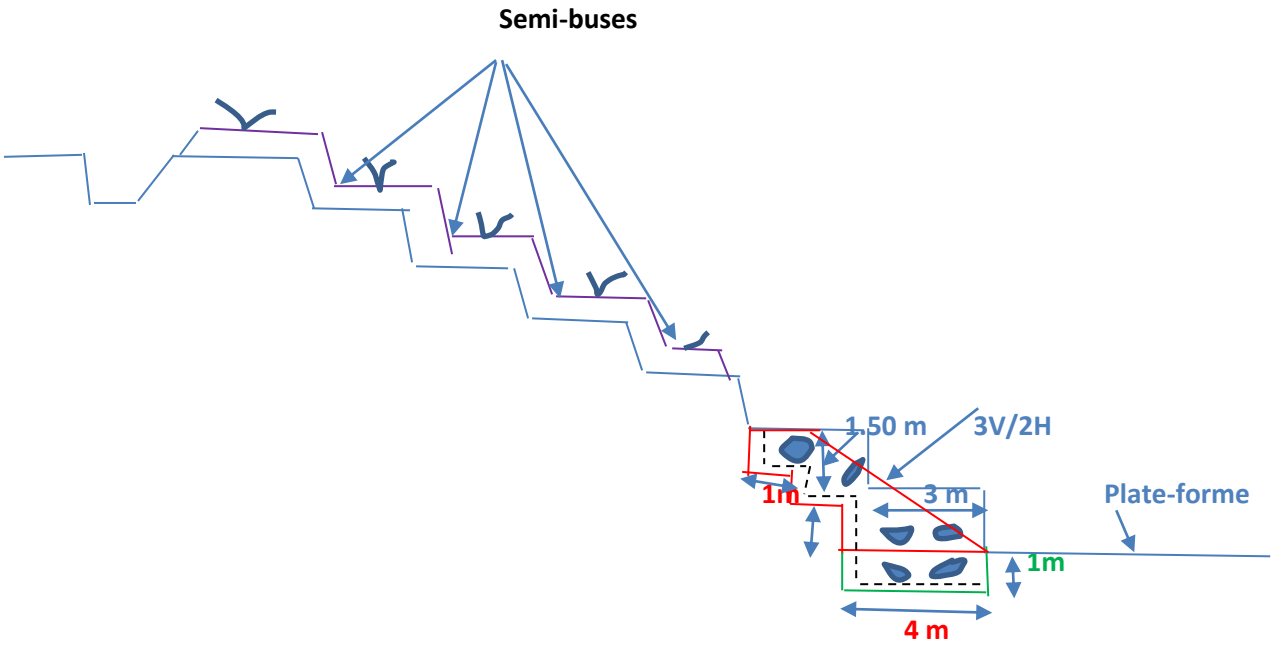
Il faut procéder à la pose du géotextile de filtration et à la pose de l'enrochement avec soin pour ne pas endommager le géotextile, ne pas faire tomber les enrochements sur le géotextile ni circuler sur le géotextile avec les engins. Une mince couche de sable sera prévue sur le géotextile au niveau de la tranchée d'ancrage de fondation du masque.

5) PHASE 5 : Mise en place de la terre végétale et plantation sur le reste du talus



Mise en œuvre de la terre végétale de 0.20 m d'épaisseur, avant les redans devront être légèrement inclinés pour que la terre végétale tient, ensuite procéder à la plantation ou engazonnement.

6) PHASE 6 : Mise en place des semi-buses et fossés de crête et de pied



Les semi-buses seront réalisées au niveau de chaque redan et les eaux de pluies seront acheminées vers des tranchées de descentes d'eau qu'il faut les prévoir.

- La pente des redans devra être de 3% et orientée vers l'intérieur.
- Les fossés trapézoïdaux seront en béton de dimensions type standard

Méthode de phasage des travaux

1. A partir du pied de talus, il faut entrer avec une largeur de 4.00 m

2. Construction de 02 redans d'accrochage jusqu'au 2ème redan déjà existant

2. réalisation de la tranchée d'ancrage de 1 m de profondeur et 4 m de largeur

3. Pose du géotextile de filtration sur les redans et à l'entrée de 4.00 m, pour que le géotextile ne lâche pas il faut le retenir par des manœuvres. Ne pas marcher sur le géotextile, ni faire tomber les blocs dessus.

4. mise en œuvre d'une couche de sable ou 3/8 de 0.20 m d'épaisseur sur le géotextile, compacté à la dame sauteuse au niveau du fond de la fouille de 1 m de profondeur

5. Pose des enrochements de bas vers le haut jusqu'au niveau de la 1ème berme en respectant le profil avec la pente 3V/2H du talus du masque

6. Mise en œuvre de la terre végétale ép. 0.20 m pour les 4derniers redans, plantation d'arbustes (accacia, tournesol, …) et des semi-buses de 0.35 m de diamètre.

7. Réalisation des fossés de crête et de pied en béton type trapézoïdale type standard

8. La pente des redans doit être de 3% et orientée vers l'intérieur

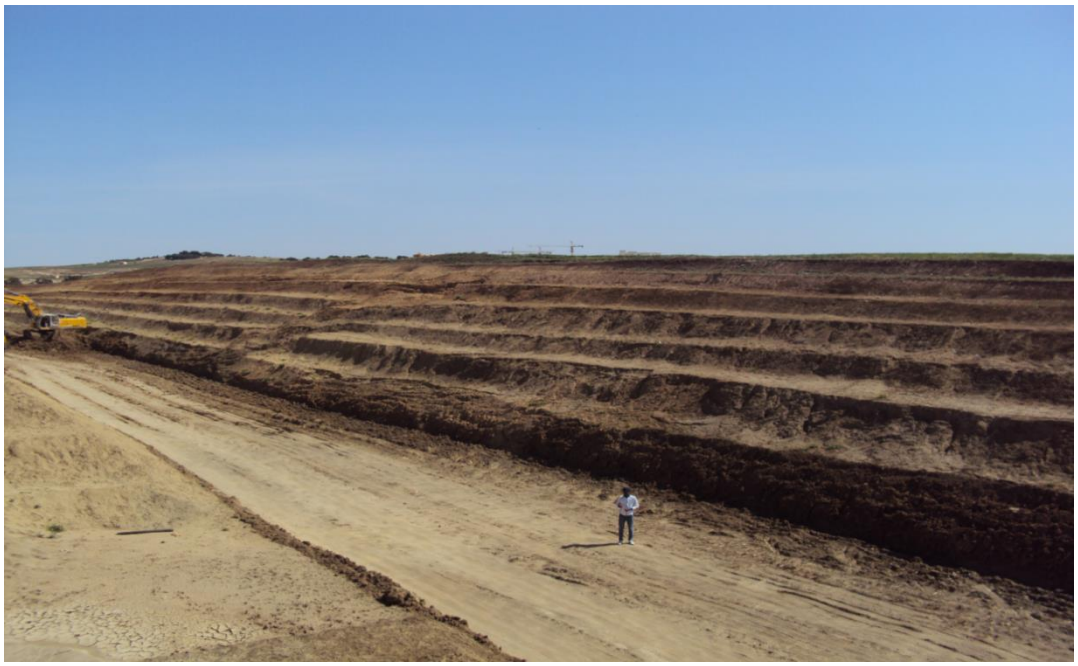


Figure XII.11: TALUS DU PK3+100 AU PK3+550

CHAPITRE XIII:

AMENAGEMENT DE LA GARE de Colonel Bougara

XIII.1. INTRODUCTION

C'est l'ensemble des bâtiments et installations établis aux stations des lignes de chemin de fer, elle a des fonctions multiples comme la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et se présente aussi comme un nœud de liaison entre la ville et son système de transport public.

XIII.2. TYPES DES GARES

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.

XIII.2.1. Installations d'une gare voyageurs

Selon le type, la conception et la catégorie de la gare Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions

- **Le bâtiment de voyageurs** : c'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : c'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.
- **Quais** : c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.
- **Abris de quais** : c'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles** : ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

XIII.2.2. Installations d'une gare marchandises

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

- Un BS (bâtiment de service) pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- Des cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.
- Quais de débord.
- Halle de stockage.
- Parking pour stationnement des véhicules.

XIII.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE

XIII.3.1. Garage franc

Une borne de garage franc est un signal qui indique la limite de la partie de voie à occuper par les véhicules gares, sa valeur théorique est de 3,57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée. Pour des raisons de sécurité, le garage franc sera installé à d'un mètre sa valeur théorique. **GF= 3.57*n+1m ; n :** varie selon l'ouverture

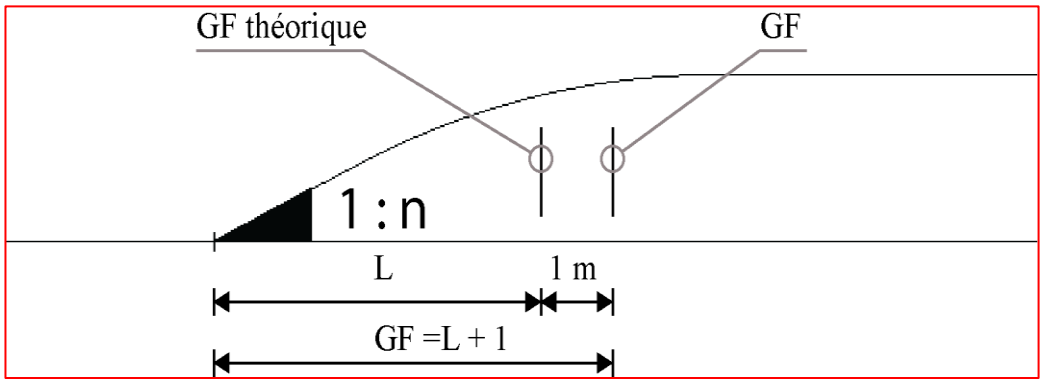


Figure XIII.1: Garage franc

XIII.3.2. La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

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

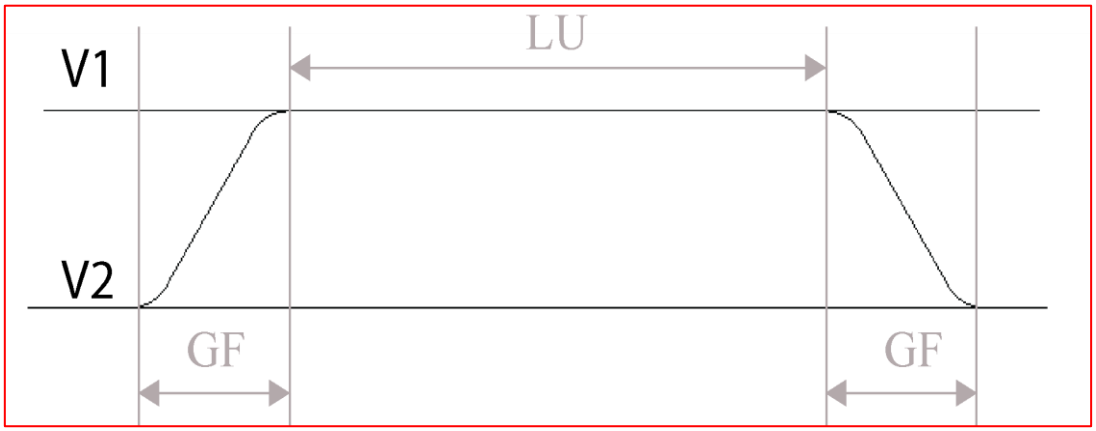


Figure XIII.2: Longueur utile de stationnement et garage franc

XIII.3.3. Heurtoir

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

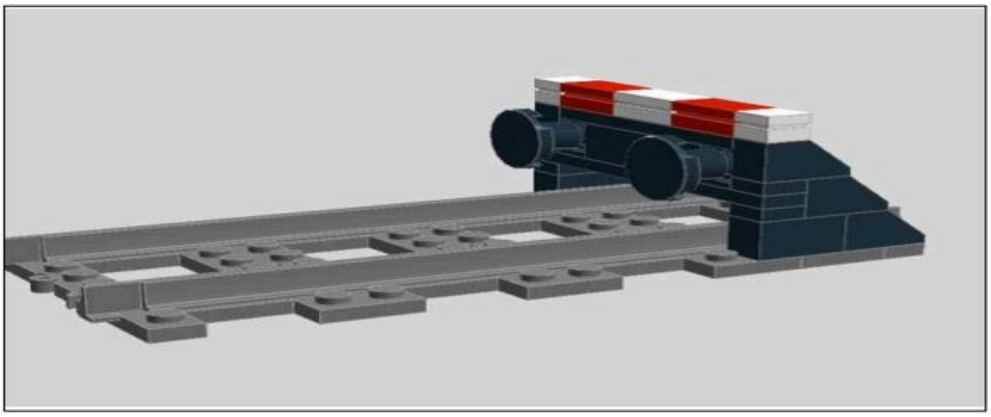


Figure XIII.3: Heurtoir

XIII.3.4. La marge de glissement à l'aval des signaux

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation n'est autorisée.

La marge de glissement a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Selon UIC 741 Les longueurs de la marge de glissement sont définies comme suit :

- 50-200 m : selon la vitesse de la ligne, comme à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

  LG = 200 m pour $V \geq 60$ km/h

  LG = 100 m pour 40 km/h $\leq V \leq$ 60 km/h

  LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.

- 50 m : à l'aval des signaux de blocs.

XIII.3.5. Quai

XIII.3.5.1. La hauteur du quai

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

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

XIII.3.5.2. Distance par rapport à l'axe de la voie

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L \text{ (mm)} = 1\,650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2}$$

R : étant le rayon de la voie en (m).

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

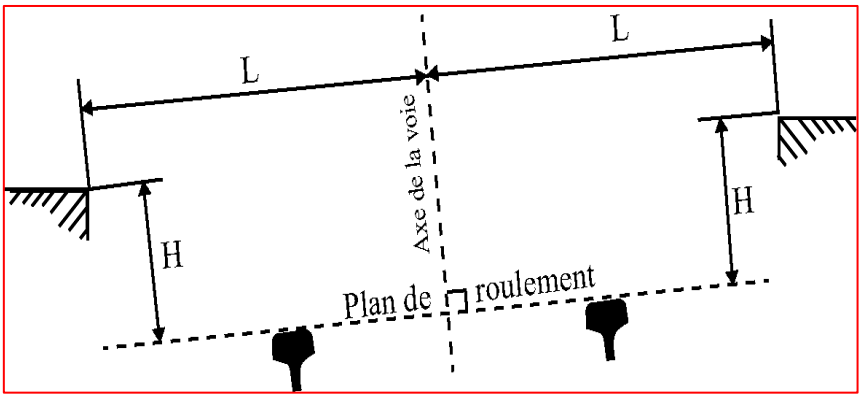


Figure XIII.4: la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

XIII.3.5.3. Entraxe entre les quais

Selon SNTF :

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

XIII.4. APPAREILS DE LA VOIE

Un appareil de voie est un dispositif permettant d'assurer la continuité de la voie pour un itinéraire choisi parmi divers itinéraires divergents ou sécants.

Le type de l'appareil est désigné par la valeur de tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale.

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).



Figure XIII.5: Appareils de voie

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

Les spécifications et les dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 sont présentées dans le tableau XIII.1 :

Tableau XIII.1 : Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1

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

XIII.4.1. Implantation des appareils de voie

XIII.4.1.1. Cas normal sans contraintes

- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m.
- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.

XIII.4.1.2. Cas avec contraintes

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥ 80 m.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droites sans doucine.

XIII.5. APPLICARION AU PROJET

XIII.5.1. Aménagement de la gare de Colonel Bougara

XIII.5.1.1. Localisation de la gare

La gare de Colonel Bougara est une gare voyageurs située entre le PK 19+075 et PK 20+525 du côté est de la ville.

L'emplacement de la nouvelle s'adapte au plan d'urbanisme de la ville. Le tracé insère la gare dans une zone vierge loin des constructions et activités industriels.

On a intégré dans la conception du tracé un alignement suffisant qui permettra d'implanter la totalité de la nouvelle gare en alignement droit.

Tableau XIII.2 : Nom de la voie et le type de chaque voie

Type de traffic	Bâtiment	Nom du voies	Type de voies
Voyageurs	Construction au sol	V_A	Voies principales
		V_B	Voies d'arrêt et dépassement
		V_3	Voies de service

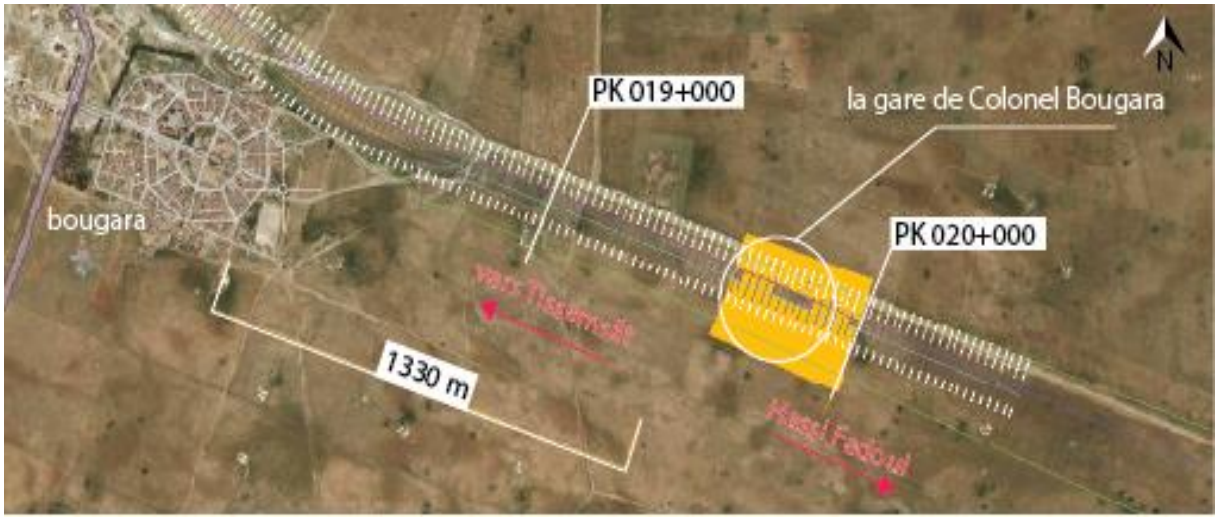


Figure XIII.6: Localisation de La gare de Colonel Bougara

XIII.5.1.2. Caractéristique de la gare

Selon les référentiels de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suit :

- **La marge de glissement à l'aval des signaux**

Pour notre projet LG = 200 m.

- **Longueur des quais**

Pour notre gare on prend 300m comme longueur des quais, en considérant 4 wagons de 75 m.

- **Hauteur des quais**

Pour notre projet un quai de hauteur H = 550 mm

- **Largeur des quais**

L = 6 m pour quai A

L = 8 m pour quai B

- **Distance du quai par rapport à l'axe de la voie**

La gare est située en alignement droit donc R= ∞

S= 3750×R + (I – 1435) ×2 = 3750×∞ + (1435 – 1435) ×2 = 0

L (mm) = 1650 + S = 1650 + 0 = 1650 mm

- **Entraxe entre les quais**

e=16 m.

- **Appareils de la voie**

02 appareils type UIC 60- 500-1/12 DD.

02 appareils type UIC 60- 500-1/12 DG.

01 appareils type UIC 60- 300-1/9 DD.

01 appareils type UIC 60- 300-1/9 DG.

- **Garage franc**

Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF=12×3,57+1m : GF = 43,84 m

Pour l'appareil de voie type 1/9 : GF=12×3,57+1m : GF = 33,13 m.

Tableau XIII.3: Installation des appareils de voies

N	Type d'appareil	Déviation	Sens
01	UIC 60- 500 1/12	DD	V_A vers V_B
02	UIC 60- 500 1/12	DG	V_A vers V_3
03	UIC 60- 300 1/9	DD	V_3 vers V_{S1}
04	UIC 60- 300 1/9	DG	V_3 vers V_{S2}
05	UIC 60- 500 1/12	DD	V_A vers V_3
06	UIC 60- 500 1/12	DG	V_A vers V_B

XIII.5.1.3. Schéma de la gare de Colonel Bougara (voir annexe)

XIII.5.2. Aménagement de la gare de croissement

XIII.5.2.1. Localisation de la gare

La gare de croisement située au Pk 11+300 côté nord-ouest de la ville de Bougara

XIII.5.2.2. Appareils de voies

- Appareils de voies 60 E1 500 1/12
- Garage franc GF = 44m
- Longueur utile LU = 1200m

Tableau XIII.4: Installation des appareils de voies

N	Type d'appareil de voie	Déviation
1	UIC 60- 500 1/12	DD
2	UIC 60- 500 1/12	DG

XIII.5.2.3. Schéma de La gare de croissement

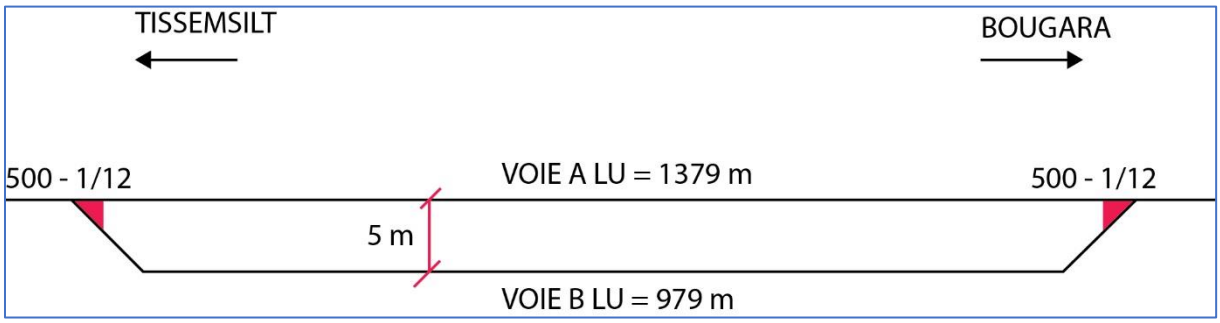


Figure XIII.7: Schéma de La gare de croissement

XIII.6. ASSAINISSEMENT DE LA GARE

XIII.6.1. Assainissement transversal

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

XIII.6.2. Assainissement longitudinal

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

XIII.7. CONCLUSION

L'aménagement de la gare de Colonel Bougara a été mis en place d'une manière à satisfaire les besoins de la région et aussi les besoins commerciaux et économiques de cette région et du pays en termes de déplacement et communication avec d'autres régions.

CHAPITRE XIV: SIGNALISATION FERROVIAIRE

XIV.1. INTRODUCTION

Dans le domaine des chemins de fer, la signalisation fait le lien entre les infrastructures (voies ferrées, ouvrages d'art) et les matériels roulants (trains). Elle transmette des informations ou des ordres pour éviter les accidents.
La signalisation ferroviaire regroupe l'ensemble des équipements techniques conçus pour assurer la bonne marche de vos trains, en toute sécurité. Elle est gérée depuis les différents postes d'aiguillage répartis sur l'ensemble du réseau ferré.

XIV.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION

La signalisation et la protection des trains devront satisfaire aux principes de base suivants :
▪Assurer la commande des itinéraires pour que les trains arrivent à leur destination prévue.
▪ Assurer la sécurité de chaque mouvement de trains en empêchant toute les risques de déraillement par excès de vitesse.
▪ Assurer l'espacement des circulations sur les intervalles entre les gares de croisement.
▪ Assurer la circulation dans les deux sens sur une même voie (nez à nez).
▪ La protection des circulations dans les gares (convergence, cisaillement…).
▪protéger les passages à niveau (croisements rail avec route).

XIV.3. TYPES DE SIGNALISATION

La signalisation peut être mécanique ou lumineuse.

En signalisation mécanique : En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur, ou bien d'un tableau mécanique.

En signalisation lumineuse : En signalisation lumineuse, les signaux donnent, de jour comme de nuit, les mêmes indications. Il est fait usage :

- ✓ Soit de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants qui, sauf dans certains tunnels, sont groupés sur un écran noir bordé de blanc.
- ✓ Soit de tableaux lumineux ou réflectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

XIV.4. FONCTIONS DES SIGNAUX

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

• signalisation d'arrêt.
• signalisation de limitation de vitesse.
• signalisation de direction.

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

XIV.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX

Les signaux implantés à demeure sont normalement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent, ou au-dessus de cette voie.

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

La distance d'implantation d'un signal à distance est fonction :
• du profil moyen de la partie de voie intéressée (déclivité moyenne).
• de la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
• des caractéristiques de freinage des circulations.

XIV.6. VISIBILITE DES SIGNAUX

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite :

XIV.6.1. Visibilité des signaux hauts

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

XIV.6.2. Visibilité des signaux bas

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au- dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

XIV.7. SIGNAUX

Les signaux sont utilisés pour la transmission lumineuse des autorisations de mouvement aux mécaniciens (signaux principaux, signaux de manœuvre) ou pour annoncer ces autorisations de mouvement (signaux d'avertissement).

Les indications, la disposition des feux lumineux sur le panneau, les dimensions des signaux, leur disposition sur la voie, la forme des signaux complémentaires et les autres prescriptions sont fixées dans le Règlement général de Sécurité : "Signaux" de la SNTF.

XIV.7.1. Type de signalisation

XIV.7.1.1. La signalisation d'arrêt

Le carré (C)

Le carré fermé présente :

- En signalisation lumineuse, deux feux rouges sur une ligne verticale ou horizontale.

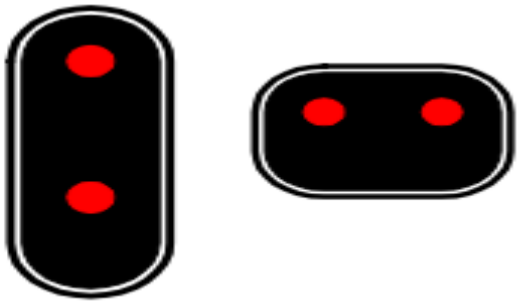


Figure XIV.1: Le carré (C) en signalisation lumineuse

- En signalisation mécanique, une cocarde à damier rouge et blanc, de forme carrée, associée, pour observation de nuit, à deux feux rouges sur une ligne verticale ou horizontale.

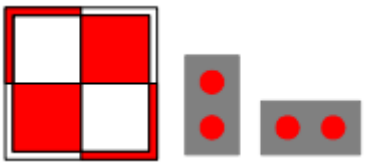


Figure XIV.2: Le carré (C) en signalisation mécanique

- Le carré fermé commande au conducteur l'arrêt avant le signal.
- Utilisé sur les voies principales, sa fonction essentielle est d'assurer la protection des circulations dans les zones comportant des appareils de voie

Le carré violet (Cv)

Le carré violet fermé présente :

- En signalisation lumineuse, un feu violet.

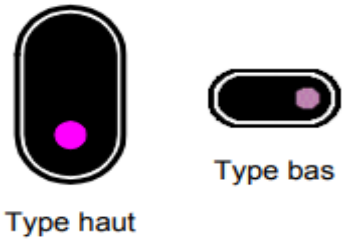


Figure XIV.3: Le carré violet (Cv) en signalisation lumineuse

- En signalisation mécanique, une cocarde violette, de forme carrée, associée, pour observation de nuit, à un feu violet.



Figure XIV.4: Le carré violet (Cv) en signalisation mécanique

- ➢ De même que le carré fermé, le carré violet fermé commande au conducteur l'arrêt avant le signal.

Il est utilisé :

- ✓ Sur voies de service.
- ✓ Sur voies principales à l'origine d'itinéraires de refoulement.
- ✓

Guidon d'arrêt (GA)

Le guidon d'arrêt fermé présente :

- ❖ En signalisation lumineuse, une bande lumineuse rouge horizontale .



Figure XIV.5: Guidon d'arrêt (GA) en signalisation lumineuse

- ❖ En signalisation mécanique, une petite aile rectangulaire rouge étendue horizontalement à gauche du mât et associée, pour observation de nuit, à un feu rouge.



Figure XIV.6: Guidon d'arrêt (GA) en signalisation mécanique

- ➢ De même que le carré fermé, le guidon d'arrêt fermé commande au conducteur l'arrêt avant le signal.

Disque

Le disque fermé présente :

- ❖ En signalisation lumineuse, un feu rouge et un feu jaune sur une ligne horizontale ou verticale.



Figure XIV.7: Disque en signalisation lumineuse

❖ En signalisation mécanique, une cocarde circulaire rouge, associée, pour observation de nuit, à un feu rouge et un feu jaune sur une ligne horizontale ou verticale.



Figure XIV.8: Disque en signalisation mécanique

✓ Il n'est pas généralement utilisé que sur les lignes à block manuel pour la protection :
-Des petites gares
-Des établissements de pleine ligne desservis au passage.
➢ Le disque ne doit pas être utilisé sur les lignes où la vitesse excède 140 km/h.

Le sémaphore(S)

Le sémaphore fermé présente :

❖ En signalisation lumineuse, un feu rouge, avec œilleton allumé s'il s'agit d'un panneau muni d'une plaque Nf

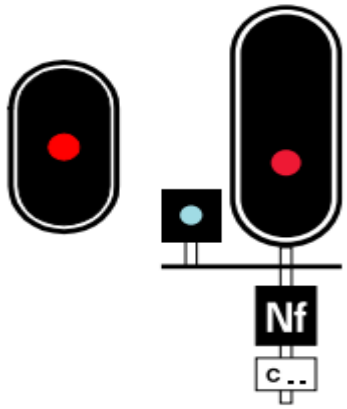


Figure XIV.9: Le sémaphore(S) en signalisation lumineuse

❖ En signalisation mécanique, une aile rouge étendue horizontalement, associée, pour observation de nuit, à un feu rouge.

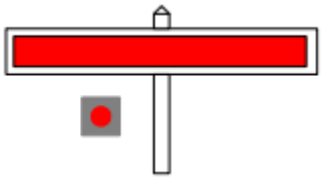


Figure XIV.10: Le sémaphore(S) en signalisation mécanique

➢ Le sémaphore fermé commande au conducteur l'arrêt avant le signal.

Le sémaphore fermé commande l'arrêt avant le signal.
Il est utilisé pour :
1. Assurer le cantonnement (fonction d'espacement des trains).
2. Imposer la marche à vue à un conducteur.
3. Recevoir une circulation sur voie occupée en cas de regroupement de rames ou de mises en tête.

Feu rouge clignotant
Peuvent présenter un feu rouge clignotant :
– en B.A.L (**le** block automatique lumineux), certains panneaux, généralement situés en rampe.



Figure XIV.11: Feu rouge clignotant

Lorsqu'un conducteur rencontre un panneau présentant un feu rouge clignotant :

- ✓ Il peut, sans marquer l'arrêt, s'avancer en marche à vue, mais il ne doit pas dépasser au franchissement de ce signal la vitesse de 15 km/h.
  - ➢ La marche à vue doit être observée jusqu'à la fin du canton qui suit le signal.

XIV.7.1.2. Signaux d'annonce d'arrêt

Avertissement
L'avertissement fermé présente :

- ❖ En signalisation lumineuse, un feu jaune.



Figure XIV.12: Avertissement en signalisation lumineuse

- ❖ En signalisation mécanique, une cocarde jaune, en forme de losange, associée, pour observation de nuit, à un feu jaune.



Figure XIV.13: Avertissement en signalisation mécanique

  - ➢ L'avertissement fermé commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt : carré ou sémaphore, annoncés ou d'observer un feu rouge clignotant.

Bande lumineuse jaune horizontale
Dans certaines gares, en complément de l'avertissement présenté sur le panneau portant le carré d'entrée, il est fait usage d'une bande lumineuse jaune horizontale.



Figure XIV.14: Bande lumineuse jaune horizontale

- La bande lumineuse jaune horizontale commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite.

Feu jaune clignotant

En signalisation lumineuse, certains avertissements implantés à distance réduite du signal annoncé sont précédés par un feu jaune clignotant présenté sur le panneau précédant l'avertissement correspondant.



Figure XIV.15: Feu jaune clignotant

- Le feu jaune clignotant commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter avant le signal d'arrêt annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant, cette distance pouvant n'être que de 500 mètres.

Feu vert clignotant

Le feu vert clignotant est utilisé pour limiter à 160 km/h les trains dont la vitesse limite est plus élevée :

- ✓ Pour préannoncer des signaux d'annonce d'arrêt, de ralentissement ou de limitation temporaire de vitesse.
- ✓ Dans certaines situations temporaires (protection du personnel, travaux, …).



Figure XIV.16: Feu vert clignotant

XIV.7.1.3. Signalisation de limitation de vitesse

Ralentissement 30 et rappel 30

Le ralentissement 30 fermé présente :

− en signalisation lumineuse, deux feux jaunes sur une ligne horizontale .



figure XIV.17: Le ralentissement 30 en signalisation lumineuse

en signalisation mécanique, une cocarde jaune, triangulaire, pointe en haut, associée, pour observation de nuit, à deux feux jaunes sur une ligne horizontale.



Figure XIV.18: Le ralentissement 30 en signalisation mécanique

Le rappel 30 fermé présente :

- En signalisation lumineuse, deux feux jaunes sur une ligne verticale ;



Figure XIV.19: Le rappel 30 en signalisation lumineuse

- En signalisation mécanique, une cocarde jaune, triangulaire, pointe en bas, associée, pour observation de nuit, pour observation de nuit, à deux feux jaunes sur une ligne verticale.

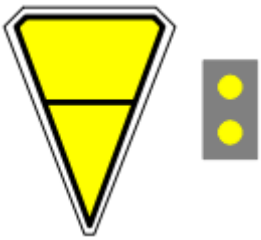


Figure XIV.20: Le rappel 30 en signalisation mécanique

- Le ralentissement 30 fermé, ainsi que le rappel 30 fermé, commande au conducteur de ne pas dépasser la vitesse de 30 kilomètres à l'heure au franchissement de l'aiguille (ou des aiguilles) correspondante.

Ralentissement 60 et rappel 60

Utilisés exclusivement en signalisation lumineuse, les signaux de ralentissement 60 et de rappel 60 sont caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés en signalisation lumineuse pour constituer respectivement le ralentissement 30 et le rappel 30.



Figure XIV.21: Ralentissement 60 et rappel 60

XIV.7.1.4. Les signaux de divers

En complément des signaux d'arrêt, de limitation de vitesse et des signaux qui les annoncent à distance, il existe :

- Des signaux indicateurs de direction.
- Des signaux de départ des trains.
- Des signaux et tableaux à inscriptions diverses.
- Des signaux de sortie de certains faisceaux ou groupes de voies convergentes.
- Des signaux propres aux manœuvres.

XIV.8. LE SYSTEME DE LA SIGNALISATION

Le système qui sera utilisé dans notre projet **Tissemsilt-Boughezoul** est le système européen de protection des trains ETCS de niveau 1 (Européen Train Control System 1).

XIV.8.1. ETCS (European Train Control System)

ETCS est la composante majeure de signalisation et de contrôle des trains de l'ERTMS (European Rail Traffic Management System), le système européen de gestion du trafic ferroviaire. ETCS calcule en permanence, pour chaque train, une vitesse maximale de sécurité avec signalisation en cabine à l'intention du conducteur et met en œuvre des systèmes embarqués qui reprennent le contrôle en cas de dépassement de la vitesse autorisée. Il y a, dans le cadre d'ETCS, normalisation des équipements au sol et des systèmes embarqués à bord des trains en respect des différents niveaux que connaît l'ETCS.

La surveillance automatique (contrôle de vitesse) des trains (ATP, Automatic Train Protection) est une autre fonction importante utilisée pour la première fois en Algérie avec l'ETCS. Si un train dépasse la vitesse autorisée sur un tronçon ou s'il franchit un signal d'arrêt, le freinage d'urgence est automatiquement déclenché.

XIV.8.2. ETCS niveau 1

En ETCS 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.

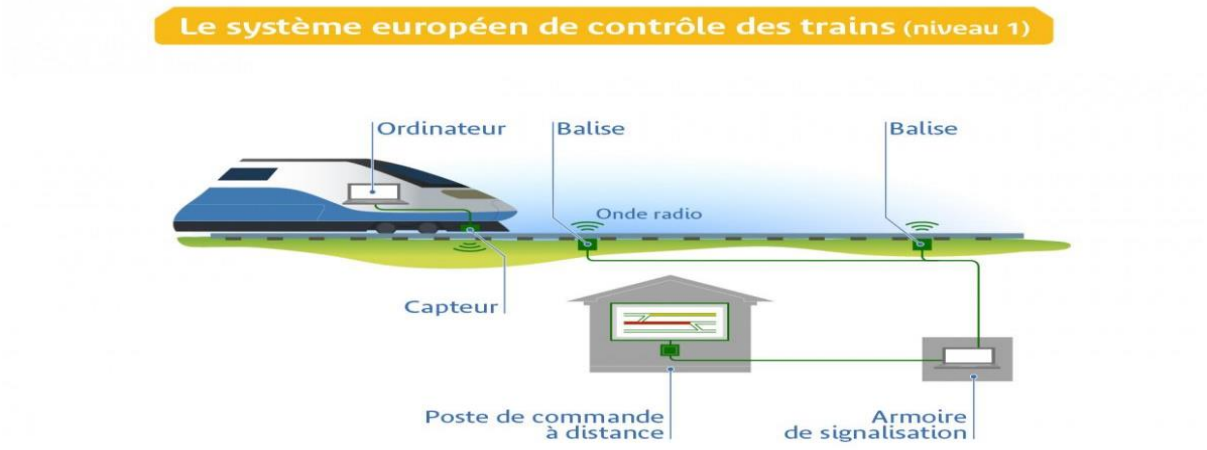


Figure XIV.22: Le système européen de contrôle des trains niveau 1

XIV.9. POSTES DE SECURITE

La commande et la surveillance des installations de signalisation seront assurées en général dans notre gare "Bougara", il sera installé un centre de relayage (CR), qui englobe uniquement les modules de puissance et sert pour la connexion de l'installation extérieure.
Les centres de relayage seront inoccupés et commandés à distance. Aucune possibilité de commande locale n'est prévue.
Dans la mesure du possible, la logique d'enclenchement pour la gare de Bougara sera installée de façon centrale dans le Poste de Commande Centralisé (PCC).

XIV.9.1. Type de construction des Postes de Sécurité

Le type de construction choisi pour le système des postes de sécurité sera le « Poste d'Aiguillage Informatisé » (PAI). Ce type correspond à l'état de l'art. Le système des postes de sécurité se compose ici des CRs décentralisés et du PCC centralisé.

XIV.10. SYSTEME DE CANTONNEMENT

Le block-système ou cantonnement est le moyen généralement employé pour assurer un espacement suffisant entre les convois circulant dans le même sens sur une voie ferrée donnée.
Entre les gares, la ligne n'est pas découpée en cantons intermédiaires.
Comme les distances entre les gares sont assez grandes (7 km au moins) et le débit de la ligne plutôt faible. le système Block Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) sera appliqué pour notre projet.

XIV.10.1. Le Block Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR)

Le Block Automatique à Permissivité Restreinte, ou BAPR est un système de sécurité ferroviaire utilisé sur les lignes à trafic moyen. Pour mémoire, les systèmes de type block ont pour objectif d'empêcher le rattrapage de deux convois.

En BAPR les deux signaux signal d'avertissement et sémaphore sont découplés, le signal d'avertissement est reporté à environ 1500m en amont du sémaphore. Ceci afin de ne pas gêner la fluidité du trafic en contraignant un train à rouler à faible vitesse en cas de canton suivant occupé.

- Entre les gares de notre ligne, la ligne n'est pas découpée en cantons intermédiaires, il n'y a qu'un seul canton entre les gares. Donc, il n'y aura pas de signaux de cantonnement sur la ligne et il est suffisant d'établir des centres de relayage dans les gares.

CHAPITRE XV:

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XV.1. INTRODUCTION

Cette étude permet d'évaluer les impacts directs ou indirects sur l'équilibre écologique, économique et social de la zone d'implantation du projet et les zones adjacentes. Nous évaluerons l'impact de nos projets pour éliminer, réduire ou compenser ses impacts négatifs et améliorer ses impacts positifs.

XV.2. CONTEXTE JURIDIQUE

Le projet est assujetti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu des dispositions de la réglementation nationale en vigueur, notamment :

- **Loi 03-10 du 19 juillet 2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Décret exécutif nº 06-198 du 4 Joumada El Oula** 1427 correspondant au 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif nº 07-144 du 2 Joumada El Oula 1428** correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428** correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- **Loi n° 2002-02 du 22 Dhou El Kaada 1422** correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- **Décret exécutif n°09-88 du 21 Safar 1430** correspondant au 17 février 2009 relatif au classement des zones critiques du littoral.

XV.3. EFFET POSITIF DU PROJET

Ce projet a un objectif résume dans la modernisation de l'axe ferroviaire actuel et l'amélioration des services offerts (trains voyageurs et trains marchandises).

Une liaison ferroviaire à grande vitesse permettra une évolution positive du contexte socio-économique, tant au niveau des communes desservies que des wilayas.

Les effets positifs du projet sont nombreux **:**

- **Sur le plan économique**

De nombreux emplois directs et indirects seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et durablement après leur achèvement.

- **Pour les usagers du mode ferroviaire**

Les principaux avantages sont les gains de temps, la sécurité et l'amélioration des transports ferroviaires inter urbains.

- **Pour l'environnement**

La circulation du train entraîne une diminution des bruits et de la pollution atmosphérique, avec un gain de sécurité des circulations.

- **Pour la SNTF**

Ce projet inclue dans la modernisation du réseau ferroviaire de l'Algérie et permet aussi de lie des multiples wilayas à travers nos traçons donc c'est un pas vers l'avant pour la SNTF et notre transport ferroviaire qui va être plus rentable lorsqu'il touche le maximum nombre des wilayas

XV.4. DESCRIPTION DU SITE ET SON ENVIRONNEMENT

XV.4.1. Environnement physique

L'environnement physique regroupe l'ensemble des éléments (Climat, relief, insolation ...) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à satisfaire ses besoins.

TableauXV.1 : Caractéristique physique du site

Température	T max (°C) : 34° T min (°C) : 2°
Climat	La zone d'étude appartient à la zone climatique II
Sismologie	La région étudiée a une Sismicité faible. Classée dans la zone sismique II a
Relief	Notre traçons traverse un relief moyennement plat « Un mélange entre les hauts plateaux et les steppes »
Insolation	La quantité moyenne d'heures annuelle d'ensoleillement dans la région est de 8 heures par jour.

XV.4.2. Environnement biologique

XV.4.2.1. La faune

La région étudiée est connue pour la variété de ses biotopes, Notre étude sert aussi à protéger l'habitat de la faune sauvage commune qui existe dans la région. Parmi Les espèces les plus remarquables :

- La glaréole à collier
- L'échasse blanche
- L'œdicnème
- Gallinule
- Le sanglier
- Cerf de l'Atlantique

XV.4.2.2. La flore

Le climat est semi-aride, les précipitations ne dépassent pas les 400 mm et souvent les 300 mm1 avec une végétation de type steppique, composée de plantes basses qui couvrent mal le

sol et qui sont adaptées à la sécheresse : armoise, alfa en plus la végétation des forêts comme le genévrier et le pin d'Alep.

XV.4.3. Environnement socioculturel

XV.4.3.1. Population et habitat

Elle compte 349.070 habitants sur une superficie de 905 km². La densité de population de la Wilaya de Tissemsilt est donc de 111 habitants par km², avec un taux de d'accroissement 1,71 et la structure par âge fait apparaitre que plus de 70% de la population a moins de 30 ans.

XV.4.3.2. Evaluation des impacts prévisibles et les mesures à prendre pour chaque phase de projet

- **Impacts sur les habitants**
-

Tableau XV.2: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts Sur les habitants)

Impact	Localisation	Mesure
Destructions des constructions	17+150	Compensation financière aux habitants touchée
Suppression d'un espace de loisir (terrain de hand Ball)	16+700	Faire crée un nouvel espace

- **Impacts sonores**

Tableau XV.3: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores)

Impact	Localisation		Distance entre la voie et l'habitation	Mesure
Les nuisances générées par les travaux sont : ▪ **Présence d'engins de terrassements** ▪ **Trafic des camions transportant les, matériaux et équipements de construction.**	4+075 – 4+350	Un patelin	15 ene de mètres	▪ Engins et matériels conformes aux normes en vigueur ▪ Limitation de la vitesse de circulation des engins de chantier sur les pistes ▪ Travail de nuit et jours fériés interdit, sauf situation exceptionnelle et sous réserve d'une autorisation préfectorale
	10+200-10+400	Un patelin	50 ene de mètres	
	17+925 – 18+325	Une ville	40 ene de mètres	
Les nuisances générées par le passage des trains	4+075 – 4+350 10+200 – 10+400		15 ene de mètres 50 ene de mètres	Conception des mures acoustique et des merlons afin de minimiser l'impact du bruit dans la phase exploitation.

❖ **Impacts sur la faune**

Tableau XV.4: Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune)

Impact	Type de passage/ Localisation		Mesure
▪ Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques ▪ Risque de perturbation liée au bruit et à la vibration	Pont rail	0+200	▪ La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques ▪ Impact de vibration sera modéré dans le temps. ▪ Création des passages pour animaux par des dalots surdimensionner
	Pont rail	02+410	
	Pont rail	03+810	
	Pont rail	04+425	
	Pont rail	7+375 jusqu'à 7+900	
	Pont rail	8+025 jusqu'à 8+575	
	Passage Supérieur	09+600	
	Pont rail	10+800	
	Passage Supérieur	13+475	
	Passage Supérieur	15+400	
	Pont rail	15+875 jusqu'à 16+00	
	Pont rail	16+675	
	Passage Supérieur	18+730	

❖ **Impacts sur la flore**

Tableau XV.5: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts Sur la flore)

Impact	Mesure
▪ Les déboisements ▪ La circulation des engins le long du projet en construction ▪ Le dépôt temporaire de matériaux (matériaux extraits lors des terrassements, ou nécessaires à la construction du canal…),	▪ Les arbres doivent être déplacé et non pas déboisé. ▪ Eviter les dépôts de matériaux dans la Zone humides. ▪ La propagation de la poussière sera limitée par l'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec.

- **Risque d'accidents**

Tableau XV.6: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d'accidents)

Impact	Mesure
La présence d'engins de chantiers accroît les risques d'accident pour les travailleurs et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.	Des signalisations claires des chantiers et pistes d'accès seront mises en place afin de limiter les risques d'accident.

❖ **Impacts sur la qualité de l'air**

Tableau XV.7: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet Impacts sur la qualité de l'air)

Impact	Mesure
L'émission de poussières et de particules de taille variable Lors des terrassements	▪ Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières. ▪ Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort. ▪ Vitesse de circulation des engins limitée à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière. ▪ Couverture ou protection contre le vent des stockages temporaires de matériaux pulvérulents.
D'épandage et le malaxage liants hydrauliques	▪ Pas d'épandage par vent supérieur à 40 km/h. ▪ Pas de circulation sur des surfaces venant d'être traitées. ▪ Etanchéité des épandeurs, afin d'éviter toute fuite lors du transport des produits.

❖ **Impacts sur les eaux superficielle et les eaux souterraines**

Tableau XV.7: Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines)

Impact	Mesure
Impacts sur les eaux souterraines ▪ Risques de pollution par rejets directs d'eaux de lavage, d'eaux usées. ▪ Risque de pollution par une mauvaise gestion des déchets. ▪ Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines.	▪ La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable ▪ Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles. ▪ Le rejet à l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation. ▪ En cas de dépôts de fines après un orage, le nettoyage immédiat du chantier
Impact sur les eaux superficielles ▪ Dérivations des écoulements durant la construction de l'ouvrage. ▪ La pollution des eaux. ▪ L'érosion des talus en cours de création	▪ Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau. ▪ Stockage du carburant, confinement et maintenance du matériel sur des aires aménagées à cet effet. ▪ Mise en œuvre d'une toile ou grille de protection dans les secteurs sensibles à l'érosion.

XV.5. CONCLUSION

Ce projet vient de renforcer le réseau ferré au niveau socio-économique national et régional, car il soulagera le réseau routier et les usagers de la route en absorbant une part importante des poids lourds et des voyageurs qui exploiteront la ligne. Le projet permettra également de réduire les temps de trajet, les accidents de la route, de réduire les émissions polluantes (ligne électrifiée) et de réduire le niveau sonore généré par les lignes traditionnelles.

Pour un projet qui s'intègre à son environnement, nous nous concentrons sur l'analyse des impacts environnementaux, sociaux et socio-économiques du projet, y compris les terres agricoles affectées et le reboisement doivent être prises pour minimiser ces impacts autant que possible.

CHAPITRE XVI:

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	PU (DA)	Montant (DA)
1	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION				
1-a	Amenée du matériel et installation générale du chantier	F	1	45600000	45 600 000,00
1-b	Repliement du chantier	F	1	22800000	22 800 000,00
1-c	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	20800000	20 800 000,00
1-d	Etudes d'exécution	F	1	35500000	35 500 000,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)					124 700 000,00
2	TERRASSEMENT				
2-a	Décapage de terre végétale	M^3	128727,64	400	51 491 056,00
2-b	Remblais	M^3	1490048,36	1800	2 682 087 048,00
2-c	Déblai	M^3	1679617,47	600	1 007 770 482,00
2-d	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,5 m ep	M^3	96636,32	1 700,00	164 281 744,00
2-e	Fourniture et mise en œuvre de la Couche de s/ballast de 0,20 m ep	M^3	34066,23	3 800,00	129 451 674,00
Coût total des terrassements (DA)					4 035 082 004,00
3	TRAVAUX DE LA VOIE				
3-a	Fourniture et pose ballast (30 cm)	M3	47225,808	6800	321 135 494,40
3-b	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 E (60,21 kg/m)	T	2408	121000	291 368 000,00
3-c	Pose de voie UIC 60	ML	41065,92	6300	258 715 296,00
3-d	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	34222	5700	195 065 400,00
3-e	Fourniture des attachés (Type Nabla) pour rails UIC 60	U	136888	850	116 354 800,00
Coût total de la voie (DA)					1 182 638 990,40
4	**ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL ET LONGITUDINAL**				
4-a	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	10500	6200	65 100 000,00
4-b	Dalot en béton armé (3 x 3)	U	2	14 252,82	28 505,64
4-c	Dalot en béton armé (2 x 2.5)	U	2	18 520,52	37 041,04

4-d	Dalot en béton armé (2 x 2)	U	12	17 607,52	211 290,24
4-e	Dalot en béton armé (2 x 1,5)	U	3	16 600,12	49 800,36
4-f	Dalot en béton armé(1,5 x 1,5)	U	2	16 681,31	33 362,62
4-g	Buse en béton armé 1500	U	1	36 224	36 224,00
Coût Total De l'Assainissement Transversal et Longitudinal (DA)					65 496 223,90
5	**OUVRAGES D'ARTS ET GARE**				
5-a	Ouvrages d'art	U	7	15000000	105 000 000,00
	Grand viaduc	U	3	45000000	135 000 000,00
5-c	Pose d'un appareil de voie simple type 60 E1 500 1/12	U	4	620 000,00	2 480 000,00
5-d	Pose d'un appareil de voie simple type 60E1 300 1/9	U	2	540 000,00	1 080 000,00
5-e	Fourniture d'un branchement simple type 60 E1 500 1/12	U	4	14 200 000,00	56 800 000,00
5-f	Fourniture d'un branchement simple type 60 E1 300 1/9	U	2	13 800 000,00	27 600 000,00
5-g	Fourniture et pose heurtoir	U	2	540 300,00	1 080 600,00
5-h	Bâtiment de Voyageurs	F	1	20 000 000,00	20 000 000,00
5-i	Quais	M2	4200	20 000,00	84 000 000,00
5-j	Abris de quais	M2	300	92 000,00	27 600 000,00
Coût total des ouvrages d'art et gare (DA)					460 640 600,00
6	**SIGNALISATION**				
Coût total du signalisation					236 392 567,00

Récapitulation		
N° Lot	**Désignations des lots**	**Montants (DA)**
Lot N°01	Installation de chantier et études d'exécution	124 700 000,00
Lot N°02	Terrassement	4 035 082 004,00
Lot N°03	Travaux de la voie	1 182 638 990,40
Lot N°04	Assainissement transversal et longitudinal	65 496 223,90
Lot N°05	Ouvrages d'arts et gare	460 640 600,00
Lot N°06	Signalisation	236 392 567,00
Montant total du projet HT		6 104 950 385,30
Montant de la T.V.A (19%)		1 159 940 573,21
Montant totale du projet en TTC		7 264 890 958,51

LE COUT TOTALE DU PROJET

sept milliards deux cent soixante-quatre millions huit cent quatre-vingt-onze mille Dinars Algérien (7 264 891 000,00 DA)

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les infrastructures des réseaux de transport sont des éléments indispensables et structurants du pays à travers le rôle principal qu'elles jouent dans le développement économique. Aujourd'hui, l'Algérie est en bonne voie selon l'indicateur international grâce aux nouveaux projets qui ont été lancés récemment malgré le retard pris en phase de réalisation.

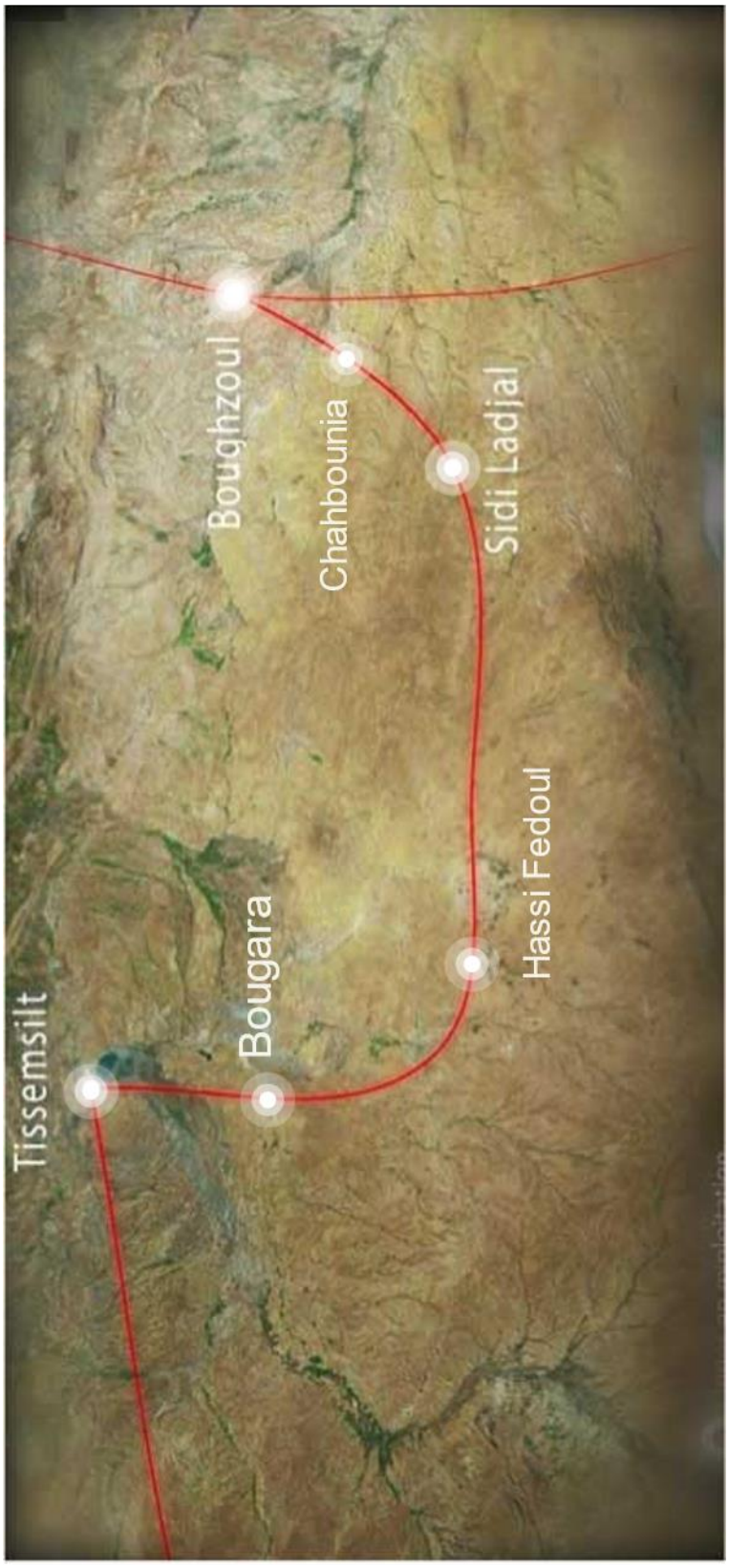
Parmi les grands projets lancés, la ligne des hauts plateaux sur un linéaire de 1161 km, qui reliera l'est de la wilaya de Tébessa jusqu'à Tlemcen et qui traverse huit (8) wilayas dont lequel s'inscrit le tronçon de 20 km qui relie Tissemsilt à Bougara, objet du présent projet, et qui appartient à la grande ligne Tissemsilt / Boughezoul.

Le présent travail, basé sur la réglementation en vigueur (UIC, SNTF), a pour objectif de réaliser une ligne à une vitesse de 160 km/h pour les trains-passagers et 100 km/h pour les trains de marchandises tout en respectant les exigences et les conditions de confort et de sécurité. Pour bien maitriser les différents problèmes, il a été nécessaire de mener une étude géotechnique, une étude hydraulique et une étude d'impact sur l'environnement, ainsi que la conception des gares en utilisant les différents logiciels d'Autodesk tels que l'Autocad 2020, civil 3D 2020 et Global Mapper.

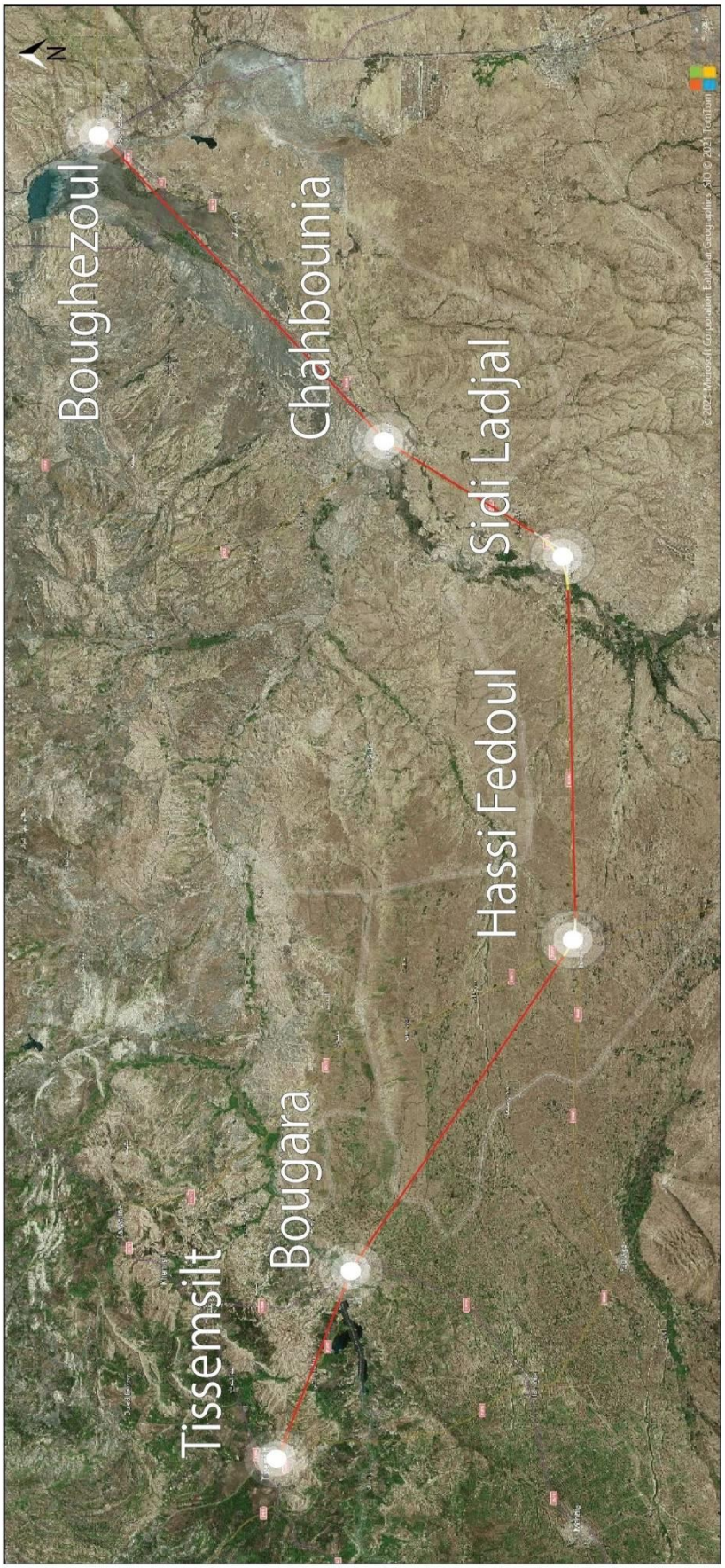
La bibliographie

- Manuel de projet routier, Goumettre, KALLI 2012.
- SETRA guide technique de l'assainissement routier
- Référentiel SNTF chapitre 6 géométrie de la voie version 2, 22/12/2005
- Catalogue des canalisations ALCAHYD (algérienne des canalisations hydraulique)
- Article rédigé par Christian Woiche
- Archives des Glossaire- SENTF
- SNCF abrégé de signalisation, Emanuel Bournez, 2005.
- Rapport technique de l'étude APD de Tissemsilt-Boughezoul SETI RAIL.
- Code UIC 719R, ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires, 2éme édition 1994.
- SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- Norme SNTF chapitre. 10

ANNEXE A1 : Vue globale sur la position du projet

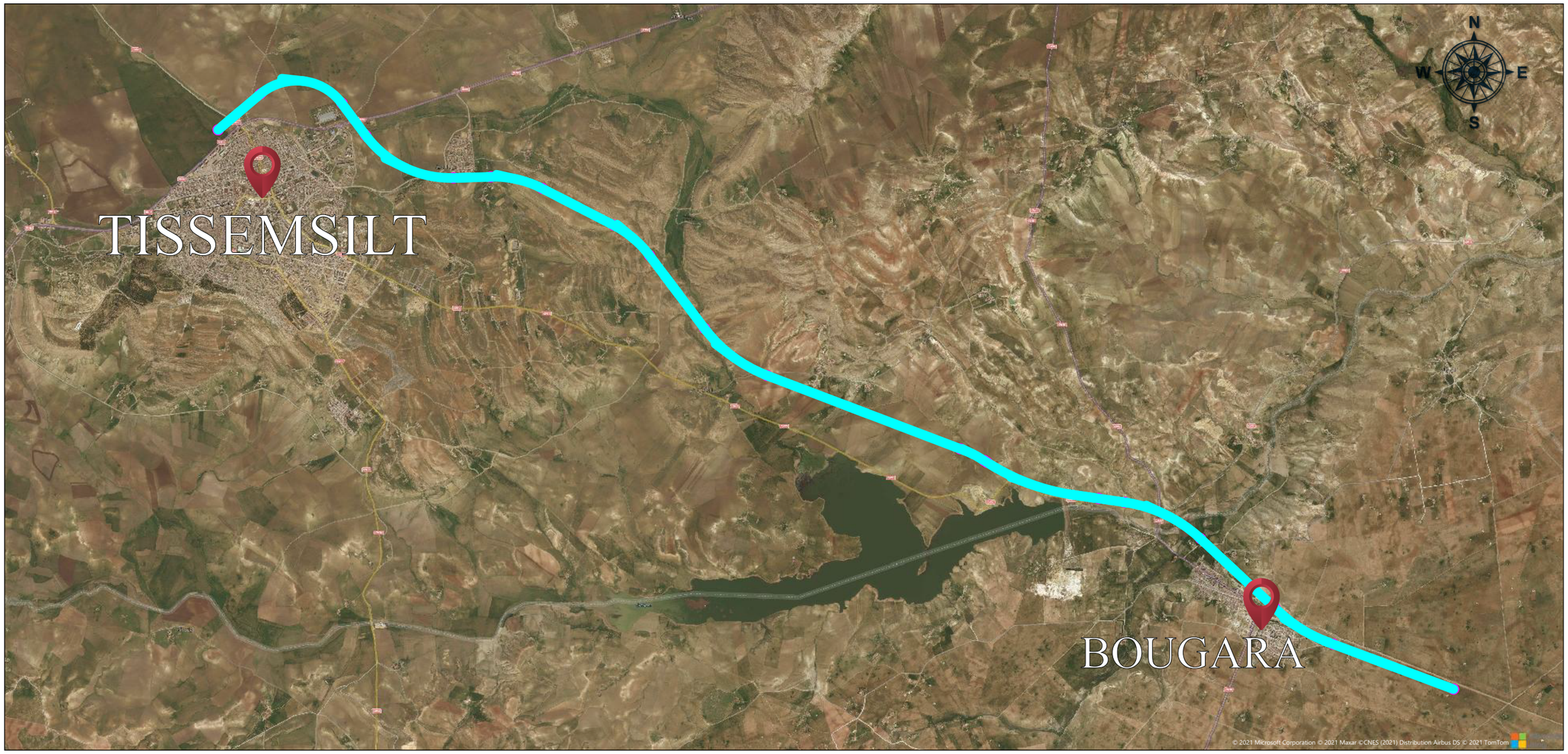


ANNEXE A2 : Vue satellitaire du projet Tissemsilt Boughezoul



ETUDE DE LA VOIE UNIQUE LIGNE TISSEMSILT - BOUGHEZOUL
DU PK 0+000 AU PK 20+000

ANNEXE A3 : Vue satellitaire du secteur de tracé concerné par l'étude



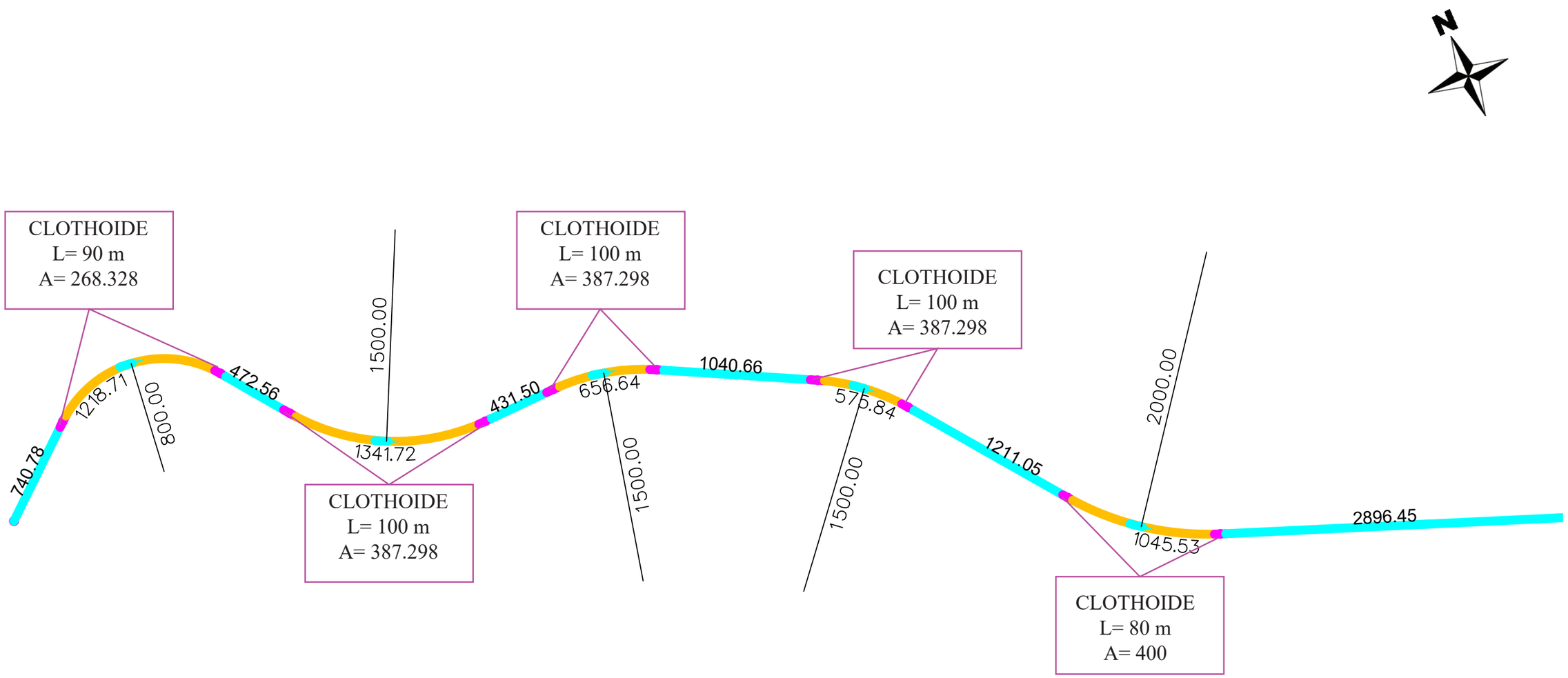
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviare à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du PK 0+000 au PK 20+000 y compris la gare de bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERDJI S.CHIALI			2020 / 2021

ANNEXE A4 : Tracé en plan

DU PK 00+000 AU PK 15+550



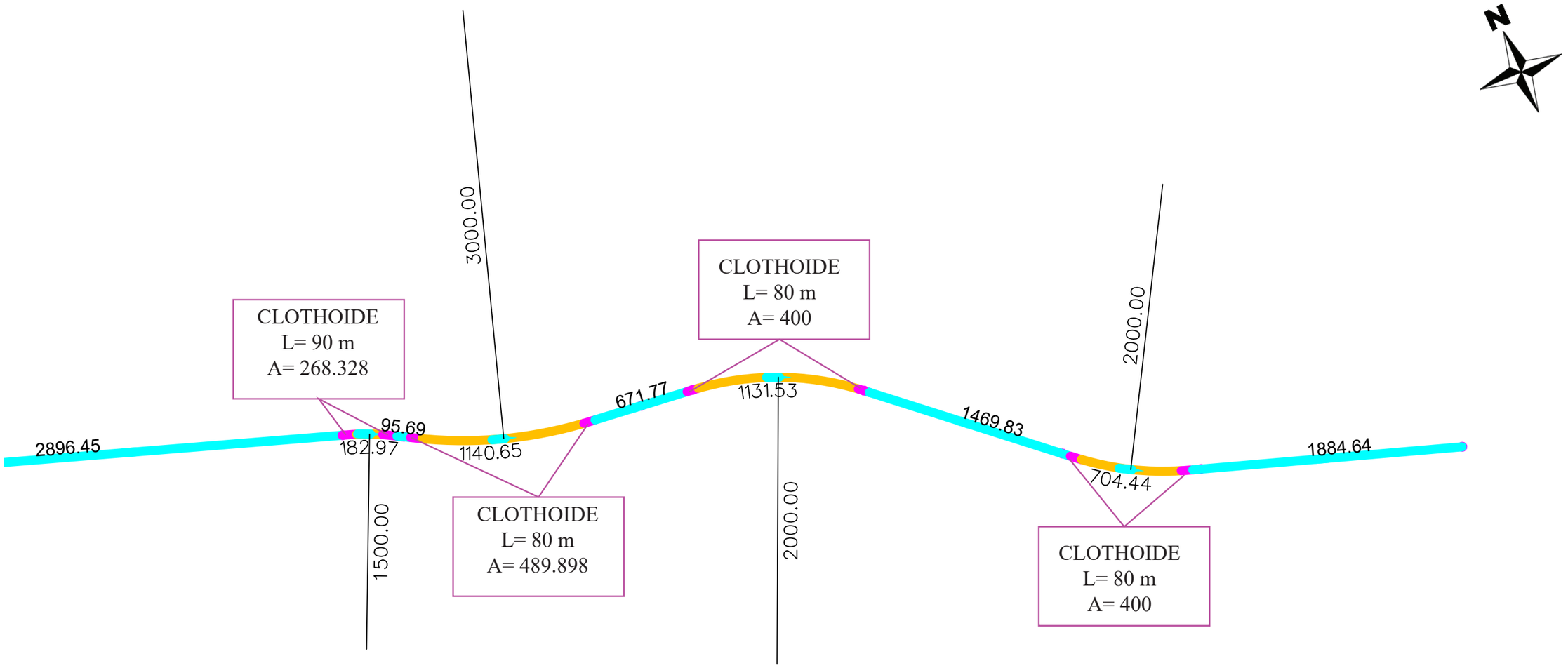
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviaire à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du pk00 au pk 20 avec la conception de la gare de Bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERIDJI S.CHIALI	1/30		2020/2021

ANNEXE A4: Tracé en plan

DU PK 10+225 AU PK 20+532



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviaire à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du pk00 au pk 20 avec la conception de la gare de Bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERIDJI S.CHIALI	1/30		2020/2021

ANNEXE B1 : Listing tracé en plan

Plage d'abscisse : Début : 0000.00, Fin : 20532.96

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	391697.6963	3941781.5835
DR1	ANG=55.1746 (g)	740.784			
			0740.78	392262.3099	3942261.1376
CLO2	A=268.328				
	R=800.000	90.000			
			0830.78	392331.9769	3942318.0957
ARC3	XC=392814.7660				
	YC=3941680.1970				
	R=800.000	1218.714			
			2049.50	393429.0704	3942192.6715
CLO4	A=268.328				
	R=800.000	90.000			
			2139.50	393484.0845	3942121.4593
DR5	ANG=159.3187 (g)	472.556			
			2612.05	393765.9216	3941742.1475
CLO6	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			2712.05	393826.4477	3941662.5510
ARC7	XC=394999.9846				
	YC=3942596.7946				
	R=1500.000	1341.721			
			4053.77	394994.0413	3941096.8064
CLO8	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			4153.77	395094.0197	3941098.6322
DR9	ANG=98.1302 (g)	431.497			
			4585.27	395525.3302	3941111.3039
CLO10	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			4685.27	395625.3086	3941113.1298
ARC11	XC=395619.3653				
	YC=3939613.1415				
	R=1500.000	656.644			
			5341.91	396260.6141	3940969.1651
CLO12	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			5441.91	396350.0390	3940924.4192
DR13	ANG=130.2431 (g)	1040.658			
			6482.57	397275.4610	3940448.4327
CLO14	A=387.298				

	R=1500.000	100.000			
			6582.57	397363.8696	3940401.7107
ARC15	XC=396633.7107				
	YC=3939091.4177				
	R=1500.000	575.839			
			7158.41	397801.4719	3940032.8707
CLO16	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			7258.41	397862.4870	3939953.6484
DR17	ANG=158.9266 (g)	1211.046			
			8469.46	398590.7393	3938986.0316
CLO18	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			8549.46	398639.2707	3938922.4355
ARC19	XC=400212.8837				
	YC=3940156.8350				
	R=2000.000	1045.528			
			9594.99	399465.7456	3938301.6303
CLO20	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			9674.99	399540.3443	3938272.7373
DR21	ANG=123.1000 (g)	2896.454			
			12571.44	402248.2035	3937244.6598
CLO22	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			12671.44	402341.2875	3937208.1307
ARC23	XC=401762.4323				
	YC=3935824.3220				
	R=1500.000	182.971			
			12854.41	402505.3661	3937127.4142
CLO24	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			12954.41	402591.1127	3937075.9696
DR25	ANG=135.1096 (g)	95.693			
			13050.10	402672.6180	3937025.8298
CLO26	A=489.898				
	R=3000.000	80.000			
			13130.10	402740.9422	3936984.2161
ARC27	XC=404278.6330				
	YC=3939560.1639				
	R=3000.000	1140.646			
			14270.75	403806.7435	3936597.5096
CLO28	A=489.898				
	R=3000.000	80.000			
			14350.75	403885.8557	3936585.6288
DR29	ANG=109.2067 (g)	671.769			
			15022.52	404550.6120	3936488.8164
CLO30	A=400.000				

	R=2000.000	80.000			
			15102.52	404629.6969	3936476.7599
ARC31	XC=404301.9436				
	YC=3934503.7982				
	R=2000.000	1131.528			
			16234.05	405636.2541	3935993.6356
CLO32	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			16314.05	405695.1296	3935939.4743
DR33	ANG=147.7709 (g)	1469.834			
			17783.88	406770.2063	3934937.1666
CLO34	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			17863.88	406829.0819	3934883.0054
ARC35	XC=408163.3923				
	YC=3936372.8428				
	R=2000.000	704.435			
			18568.32	407424.9595	3934514.1559
CLO36	A=400.000				
	R=2000.000	80.000			
			18648.32	407499.6928	3934485.6130
DR37	ANG=122.8015 (g)	1884.644			
			20532.96	409264.7399	3933824.9380

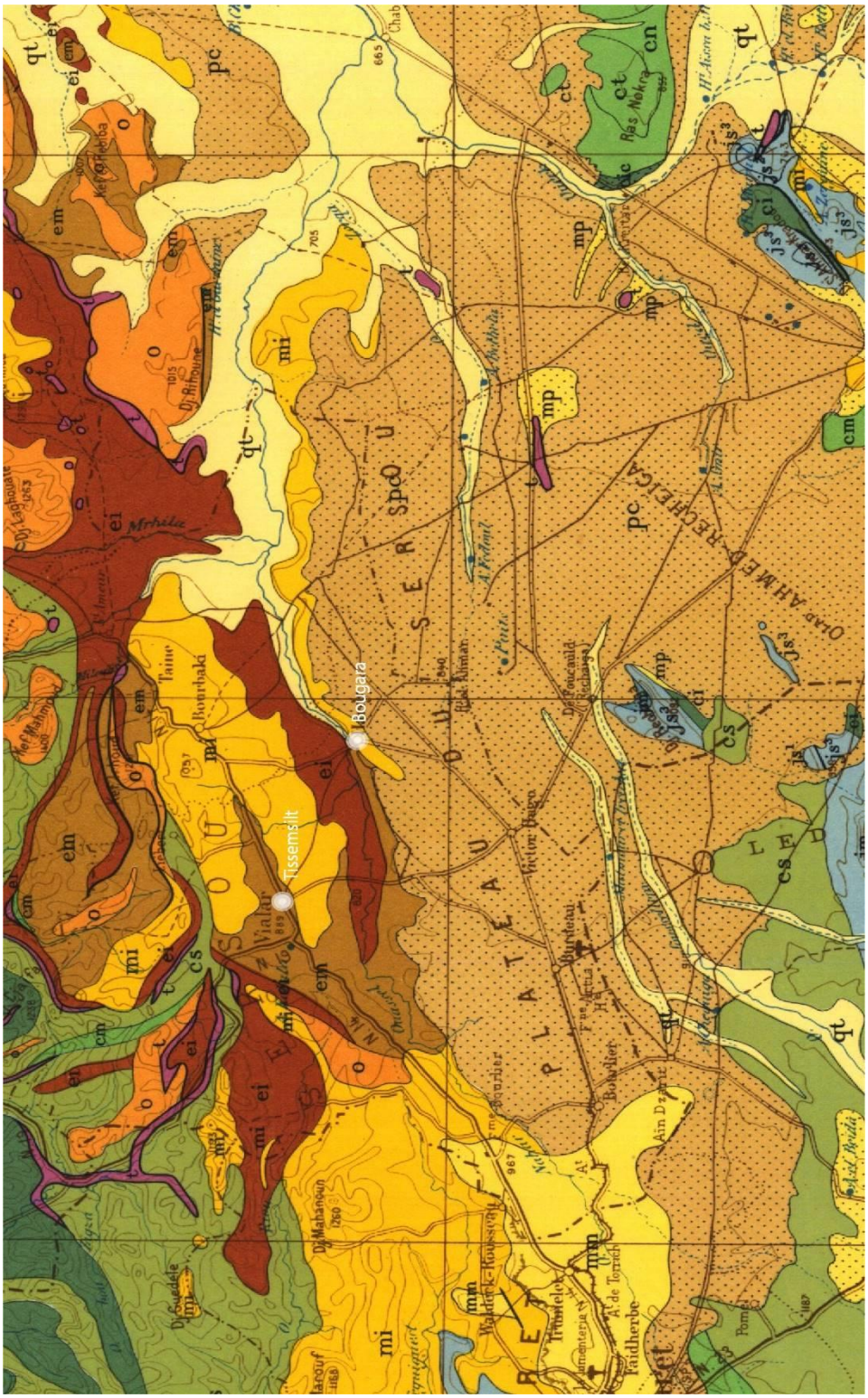
ANNEXE B2 : Listing profil en long

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	868.849
D1	PENTE= -0.00%	373.181		
			0373.18	868.849
ARC1	S= 0415.68 Z=868.849			
	R= -17000.000	84.999		
			0458.18	869.062
D2	PENTE= 0.50%	930.940		
			1389.12	873.717
ARC2	S= 1479.12 Z=874.167			
	R= -10000.000	179.988		
			1569.11	872.997
D3	PENTE= -1.30%	724.008		
			2293.12	863.585
ARC3	S= 2428.10 Z=861.830			
	R= -10000.000	269.975		
			2563.09	863.720
D4	PENTE= 1.40%	1043.050		
			3606.14	878.322
ARC4	S= 3666.13 Z=879.162			
	R= -10000.000	119.986		
			3726.13	879.282
D5	PENTE= 0.20%	531.022		
			4257.15	880.344
ARC5	S= 4297.15 Z=880.424			
	R= -20000.000	80.000		
			4337.15	880.344
D6	PENTE= -0.20%	576.699		

			4913.85	879.191
ARC6	S= 4978.85 Z=879.061			
	R= -10000.000	129.993		
			5043.84	879.776
D7	PENTE= 1.10%	578.652		
			5622.49	886.141
ARC7	S= 5757.48 Z=887.626			
	R= -10000.000	269.973		
			5892.47	885.466
D8	PENTE= -1.60%	2014.204		
			7906.67	853.239
ARC8	S= 7951.66 Z=852.519			
	R= -15000.000	89.977		
			7996.65	852.069
D9	PENTE= -1.00%	1879.745		
			9876.39	833.272
ARC9	S= 9948.89 Z=832.547			
	R= -10000.000	144.995		
			10021.39	832.873
D10	PENTE= 0.45%	744.559		
			10765.94	836.223
ARC10	S= 10813.94 Z=836.439			
	R= -12000.000	95.999		
			10861.94	836.271
D11	PENTE= -0.35%	1619.631		
			12481.57	830.603
ARC11	S= 12522.82 Z=830.458			
	R= -15000.000	82.495		
			12564.07	830.087

D12	PENTE= -0.90%	392.370		
			12956.44	826.556
ARC12	S= 13000.65 Z=826.158			
	R= -15000.000	88.430		
			13044.87	826.021
D13	PENTE= -0.31%	1366.635		
			14411.50	821.778
ARC13	S= 14458.88 Z=821.631			
	R= -12000.000	94.740		
			14506.24	821.110
D14	PENTE= -1.10%	1392.410		
			15898.65	805.794
ARC14	S= 16023.65 Z=804.419			
	R= -10000.000	249.980		
			16148.63	806.168
D15	PENTE= 1.40%	2782.415		
			18931.05	845.122
ARC15	S= 19001.04 Z=846.102			
	R= -10000.000	139.986		
			19071.03	846.102
D16	PENTE= 0.00%	1461.926		
			20532.96	846.102

ANNEXE C


Bougara
Tissemsilt
Vialar
Ain Dzarit
Ras Nekra
Oued Fodda
Oued Mina
Oued Rihou
Oued Taine
Oued Rouina
Oued Ahmed
Oued Fouad
Oued Ouddele
Oued Mahassin
Oued Bouhelal
Oued Bouderbal
Oued Bouhadid
Oued Bouhamdane
Oued Bouhamdane
Oued Bouhamdane

ANNEXE C2 : fiches de laboratoires des sondages carottées

Sondage carottées PK **07+900**:

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST

Dossier GO07283/ Sondage (SC. 1)

SC72PK007+900_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Argile sableuse brunâtre à marron clair.			67	
	Argile sableuse verdâtre à jaunâtre, renfermant des galets, des concrétions carbonatées et des fragments anguleux de roches consolidées.		1 2	43	
	Argile gris bleuté, à la base et verdâtre, au sommet.		3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	67	
	fin de sondage		21		

LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	1/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

Sondage carottées PK **08+320**

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST
Dossier GO07283/ Sondage (SC. 2)
SC72PK008+320_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Argile beige à jaunâtre, meuble et renfermant des fragments de roches gréseuses consolidées ou friables.		1	100	
			2		
	Grès roux à grains fins à moyens et dur, présentant des fissures verticales, devenant graveleux entre 4.60m et 4.70m et s'alterne avec des passées centimétriques à décimétriques d'argile verdâtre.		3	53	
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		
			10		
			11		
			12		
			13		
			14		
			15		
			16		
			17		
			18		
			19		
	Grès fin verdâtre, fissuré et admettant des intercalations argileuses verdâtres.		20	80	
	fin de sondage		21		

LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	2/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

Sondage carottées PK **11+100**

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST
Dossier GO07283/ Sondage (SC. 3)
SC72PK011+100_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Argile marron à brune, renfermant des concrétions carbonatées et de rares fragments millimétriques de roches consolidées.		1	100	
			2		
	Argile verdâtre meuble.		3		
			4		
			5		
			6	100	
			7		
			8		
			9		
			10		
	fin de sondage		11		
			12		
			13		
			14		
			15		

LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	3/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

Sondage carottées PK **13+350**

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST
Dossier GO07283/ Sondage (SC. 4)
SC72PK013+350_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Terre végétale brune.			100	
	Argile marron à brune.		1	70	
	Argile verdâtre renfermant des galets centimétriques et des concrétions carbonatées.			50	
			2		
			3		
			4		
	Argile verdâtre meuble renfermant des concrétions carbonatées à certains niveaux.		5	74	
			6		
			7		
			8		
			9		
			10		
			11		
			12		
	Galets centimétriques, hétérogènes, arrondis et emballés dans une matrice argileuse verdâtre.		13	35	
			14		
			15		
			16		
			17		
			18		
	Argile meuble vert foncé, à la base et vert clair, au sommet.		19	100	
			20		
	fin de sondage		21		

LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	4/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

Sondage carottées PK **14+340**

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST
Dossier GO07283/ Sondage (SC. 5)
SC72PK014+340_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Fragments centimétriques à décimétriques de grès dur et d'argile verdâtre consolidée (argilite) dans une matrice argilo-carbonatée brune et meuble.		1	40	
	Grès roux à grains fins à moyens et admettant des intercalations argileuses verdâtres.		2 3 4 5	73	
	Argile verdâtre compacte et consolidée, admettant des intercalations centimétriques de grès roux à grains fins		6 7 8 9 10	73	
	Grès roux à grains moyens et intercalé par une argile verdâtre.		11	43	
	Argile verdâtre compacte, devenant une argile carbonatée et grisâtre vers la base et s'alterne avec des niveaux centimétriques de grès carbonaté à débris de bois.		12 13 14	48	
	Grès grisâtre et dur en alternance avec des passées argilo-carbonatées grisâtres et minces.		15 16	75	
	Argile carbonatée gris bleuté et admettant quelques passées gréseuses.		17 18 19 20	48	
	fin de sondage		21		

LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	5/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

Sondage carottées PK **16+200**

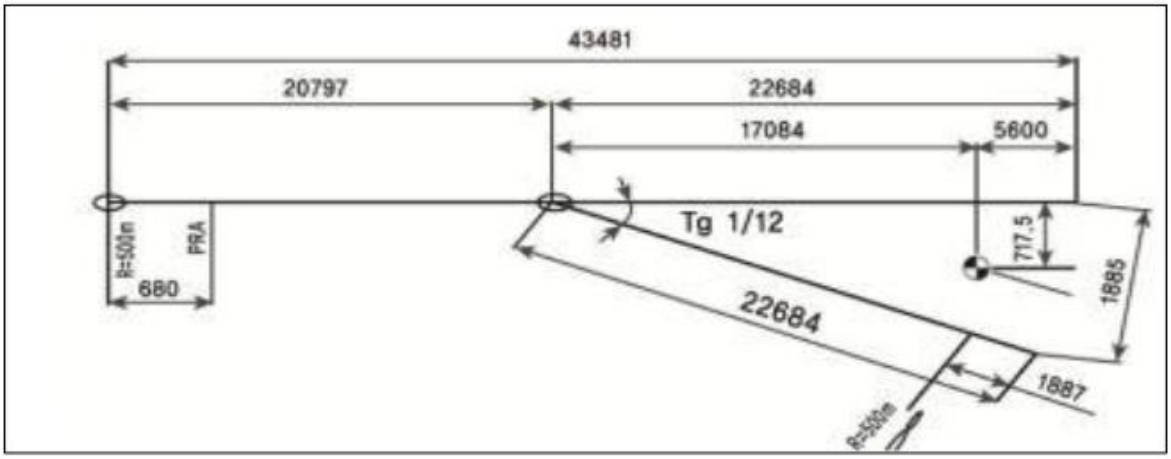
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST
Dossier GO07283/ Sondage (SC. 7)
SC72PK016+200_07

Niv Eau	Description des sols	LOG	Prof m	% Rec	Observations
	Terre végétale brune.		0	100	
	Argile sableuse grise et compacte, devenant un sable argileux compact à certains niveaux.		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	78	
	Galets d'ordre centimétrique, hétérogènes, arrondis et enrobés dans une matrice argileuse verdâtre meuble.		12 13 14 15 16 17 18 19	29	
	Argile verdâtre. fin de sondage		20 21	100	

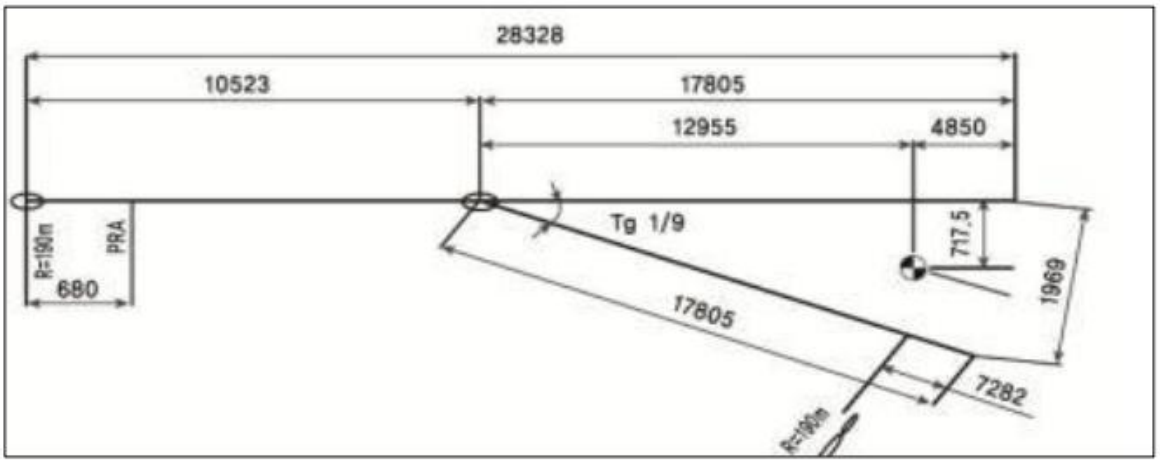
LTPO-Unité d'Oran

Etabli le	ETUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE TISSEMSILT-BOUGHZOUL-AIN OUSSERA-M'SILA	Dpt SF/MA/MBM/SA	7/46
Révisé le 26/11/2007 Indice de révision 1	Wilaya de :		

ANNEXE D : APPAREIL DE VOIE



Appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12

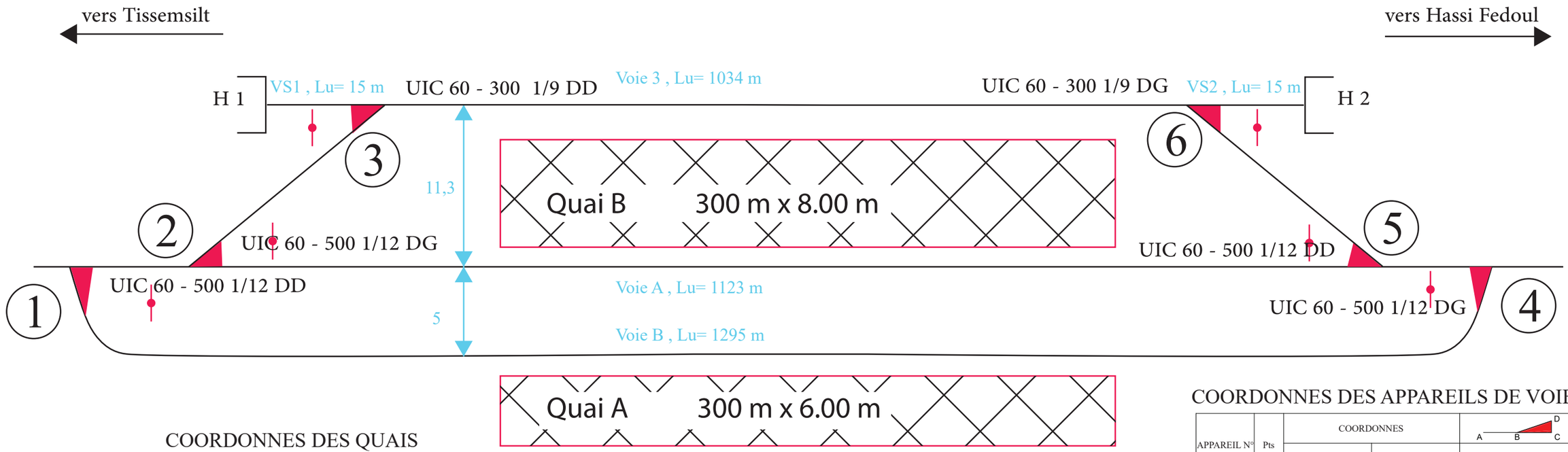


Appareils de voie type UIC 60E1 300 1/9

ANNEX E : Plan d'aménagement de la gare

ANNEX E : Plan d'aménagement de la gare

GARE DE COLONEL BOUGARA



COORDONNES DES QUAIS

QUAIS	PTS	X (m)	Y (m)
A	1	408105,5868	3934245,3136
	2	408386,5492	3934140,1465
	3	408107,6901	3934250,9329
	4	408388,6526	3934145,7658
B	1	408110,5998	3934258,7062
	2	408391,5622	3934153,5391
	3	408113,4042	3934266,1985
	4	408394,3666	3934161,0314

COORDONNES DES HEURTOIRS

PTS	COORDONNES	
	X (m)	Y (m)
H 1	408050,1516	3934291,6127
H 2	409137,5752	3933884,6002

COORDONNES DES GARAGES FRANC

N°	X (m)	Y (m)
GF 1	407980,9465	3934303,6079
GF 2	408028,9995	3934289,3552
GF 3	408063,6779	3934284,6842
GF 4	409197,8252	3933848,1179
GF 5	409152,2240	3933868,9208
GF 6	409122,8238	3933888,2558

PIQUETAGE APPAREIL DE VOIE

N°	PK	TYPE APPAREIL	DEVIATION	SENS
01	19+100	UIC 60- 500 1/12	DD	VA------>VB
02	19+150	UIC 60- 500 1/12	DG	VA------>V3
03	19+295,11	UIC 60- 300 1/9	DD	V3------>VS1
04	20+525	UIC 60- 500 1/12	DG	VA------>VB
05	20+475	UIC 60- 500 1/12	DD	VA------>V3
06	20+329,69	UIC 60- 300 1/9	DG	V3------>VS2

COORDONNES DES APPAREILS DE VOIES

APPAREIL N°	Pts	COORDONNES		TYPE D'APPAREIL
		X (m)	Y (m)	
1	A	407922,7130	3934327,2723	UIC 60 - 500 1/12 déviation à droite
	B	407942,1906	3934319,9816	
	C	407961,6681	3934312,6910	
	D	407960,9954	3934311,0987	
2	A	407969,5401	3934309,7444	UIC 60 - 500 1/12 déviation à gauche
	B	407989,0176	3934302,4538	
	C	408008,4952	3934295,1632	
	D	408009,0333	3934296,8059	
3	A	408109,3984	3934269,4371	UIC 60 - 300 1/9 déviation à droite
	B	408093,8372	3934275,2616	
	C	408078,2759	3934281,0860	
	D	408077,7279	3934279,3319	
4	A	409257,2846	3933827,7286	UIC 60 - 500 1/12 déviation à gauche
	B	409237,8070	3933835,0192	
	C	409218,3295	3933842,3099	
	D	409217,7913	3933840,6672	
5	A	409210,4575	3933845,2565	UIC 60 - 500 1/12 déviation à droite
	B	409190,9800	3933852,5471	
	C	409171,5024	3933859,8377	
	D	409172,1752	3933861,4301	
6	A	409078,3283	3933906,7757	UIC 60 - 300 1/9 déviation à gauche
	B	409093,8896	3933900,9513	
	C	409109,4508	3933895,1268	
	D	409108,7124	3933893,4440	

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

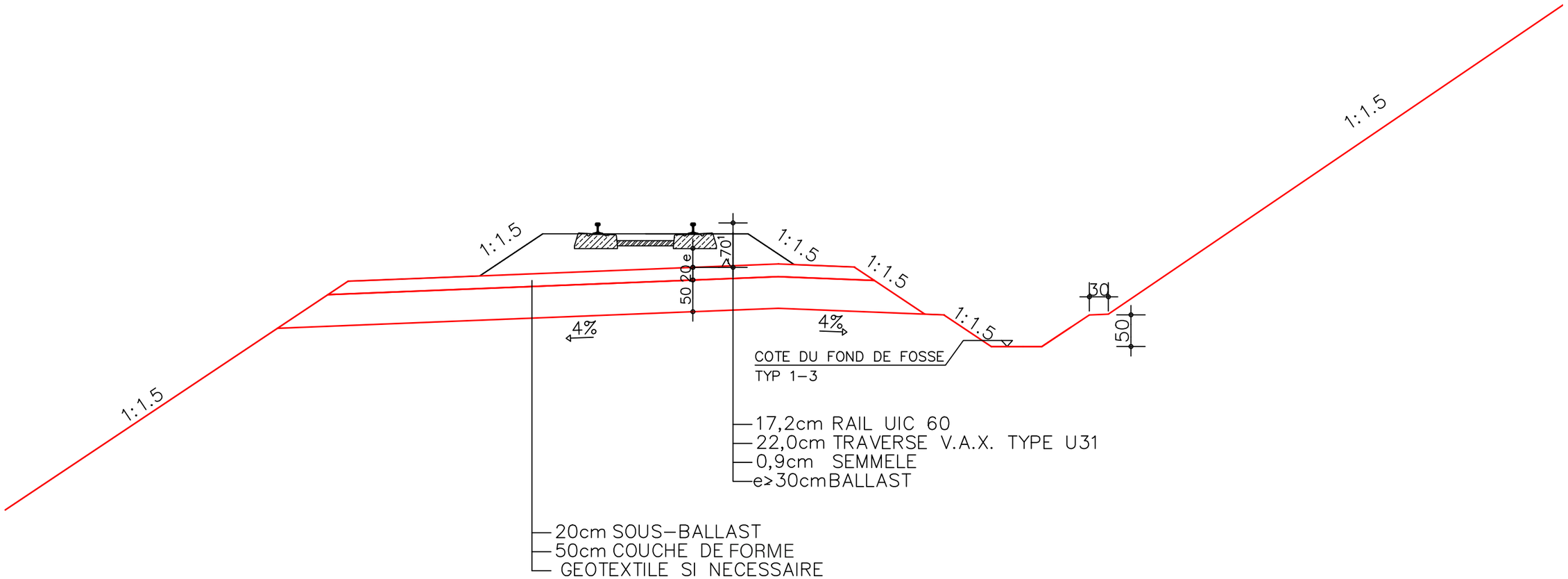
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviare à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du PK 0+000 au PK 20+000 y compris la gare de bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERDJI S.CHIALI			2020 / 2021

ANNEXE F : les Profils en travers

ETUDE DE LA VOIE UNIQUE LIGNE TISSEMSILT - BOUGHEZOUL
DU PK 0+000 AU PK 20+000

ANNEXE F1 : profils type section mixte (remblai - déblai)



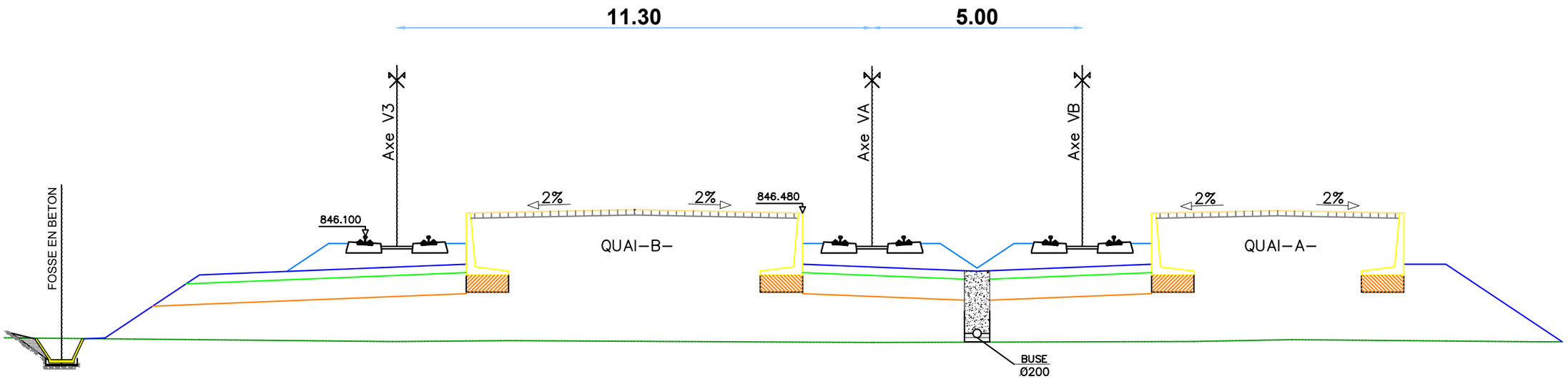
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviare à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du PK 0+000 au PK 20+000 y compris la gare de bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERDJI S.CHIALI	1/100		2020 / 2021

ETUDE DE LA VOIE UNIQUE LIGNE TISSEMSILT - BOUGHEZOUL DU PK 0+000 AU PK 20+000

ANNEXE F2: Profil en traver dans la gare



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude d'APD de la ligne ferroviare à voie unique Tissemsilt - Boughezoul du PK 0+000 au PK 20+000 y compris la gare de bougara	LAIMECHE Rabah BENMALEK Med	W.SERDJI S.CHIALI	1/200		2020 / 2021