République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Touggourt- Hassi Messaoud de PK0+000 au PK 12+000 avec la boucle de raccordement et la conception de la nouvelle gare Touggourt.

Présenté par :

Bouhnik Hibet Allah

Encadré par :

Mme . Derriche
Mme . W . seridji

Promotion 2021 / 2022

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciements

Au premier lieu, je tiens à remercier Dieu le Tout Puissant de m'avoir aidé et donné la force et la volonté Patience pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer en particulier mes sincères remerciements pour mes encadreurs Mme Z. Derriche et Mme W. Seridji pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie aussi tout le personnel de INFRARAIL et SETIRAIL pour leur soutien et leurs remarques pendant toute la période du stage.
Je tiens à témoigner toute ma gratitude à Madame Salima pour son soutien inestimable, et tout le personnel de GRTH.

Mes remerciements s'adressent, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils vont porter à mon travail.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'Ecole Nationale Supérieur des Travaux publics, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études.et surtout Mr. Morsli pour son soutien, son aide, ses conseils avisés et pour le temps qu'il nous a consacré.

J'aimerais exprimer ma gratitude au service de scolarité DIB et en particulier Mme Makoudi et Mme Bourebia.et tout le personnel de L'ENSTP

Je tiens à remercier aussi toute l'équipe de la bibliothèque pour leur soutien et pour les nombreux ouvrages qu'ils ont mis à notre disposition.

Un grand merci à tous ceux ou celles qui m'ont apporté leur soutien et qui m'ont aidée de loin ou de près pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de ma vive et sincère reconnaissance, en particulier mes parents et ma famille et mes amis Pour leur soutien émotionnel et avis critique.

Dédicace

Du profond de mon cœur je dédie ce travail a tout ceux qui me sont chers

A mes deux chers parents Hadj et Armera, merci d'être toujours à mes côtés, d'avoir fait des prières pour moi, de ne jamais avoir cessé de me supporter et de m'encourager et de veiller sur mon succès, de me rendre heureuse et de m'avoir donné confiance en moi, ce qui m'a permis de réaliser mes objectifs.
Et puis Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je prie dieu de rester votre fierté éternellement et ne jamais vos décevoir.

Que dieu vous vous protège de tout mal, vous garde en bonne santé plein de bonheur et vous garder pour nous.

A ma grand-mère paternelle décédée J'aurais aimé qu'elle soit avec nous pour partager la fin de ce travail dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma grand-mère maternelle qu'Allah prolonge sa vie et lui accorde la santé,

A mes chers sœurs Fatima, Batoul et Tesniem qui sont toujours là pour moi

A mes chers frères Abd elatife, Mohmed Alamine Abd Halim et Ahmed ELhabib

A ma tante, A tous mes oncles et toute la famille

A mes chers compagnons et meilleurs amies Soundous, Aicha, Insaf, Safa. Et tous mes amis(es) sens exception.

A tous ceux qui m'ont accompagné tout au long de ce parcours,

A tous ceux que j'aime

ملخص

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية الجديد الرابط بين تقرت وحاسي مسعود. المقطع المدروس

يمتد من النقطة الكيلومترية 00 + 000 إلى 000+12 بطول 12 كلم مع تهيئة محطة توقف قطارات لنقل المسافرين بمدينة تقرت، بالإضافة الى الحلقة الرابطة بين المحطة الحالية والمحطة الجديدة للمسافرين.

صمم المشروع وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية.

وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامج النمذجة الهندسية والحساب :AUTOCAD 2013 COVADIS 2013, STAR APIC , AUTOPISTE, GOOGLE EARTH PRO.
الكلمات المفتاحية: سكة الحديدية، المحطة، الحلقة.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement en étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique reliant Touggourt à Hassi Messaoud Le tronçon étudié prend son origine du PK 00+000 et prend fin au PK 12+000, sur un linéaire de 12 Km, sur lequel on prévoit la conception d'une gare de voyageurs de la ville de Touggourt avec la boucle de raccordement entre l'ancienne gare et la nouvelle à Touggourt.

Le projet a été élaboré suivant les normes internationales 'UIC' (Union Internationale des chemins de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire).

La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels : AUTOCAD 2013, COVADIS 2013, STAR APIC et AUTOPISTE et GOOGLE EARTH PRO.

Mots clés : COVADIS, STAR APIC, Chemins de fer, Gare, la boucle de raccordement.

ABSTRACT

This project consists essentially of the detailed design study (APD) of the new single-track railway line linking Touggourt to Hassi Messaoud the section studied originates from PK 00+000 to end at PK 12+000, on a linear of 12 km, on which will be construed a station of passengers of the city of Touggourt with the loop of connection between the old station and the new one in Touggourt.

The project was developed according to the international standards 'UIC' (International Union of Railways), and the Algerian recommendations of the 'SNTF' (National Railway Transport Company).

the geometric modeling of the project was carried out using the software tools: AUTOCAD 2013, COVADIS 2013, STAR APIC et AUTOPISTE et GOOGLE EARTH PRO.

Key words : COVADIS, STAR APIC, Railway, Station, the connecting loop.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE : 1
I. L'ENSABLEMENT 2
I.1. Introduction 2
I.2. L'ensablement 3
I.3. Conséquence de l'ensablement 3
I.4. Facteurs d'ensablement 4
I.4.1. Le vent 4
I.4.1.1. Le regime et mobilite potentielle des vents a touggourt : 5
I.4.1.1.1. Le régime annuel des vents dynamiques : 5
I.4.1.1.2. Régime saisonnier des vents dynamiques à Touggourt : 5
I.4.2. Le sol 6
I.5. L'état de la végétation 6
I.6. La nature du mouvement des particules 7
I.7. Etat des lieux par rapport au risque de l'ensablement du tronçon d'étude 8
I.8. TYPES DE TRAITEMENT 8
I.9. Les techniques de fixation des dunes 8
I.9.1. FIXATION PRIMAIRE 8
I.9.1.1. Haies artificielles et barrières 8
I.9.1.2. Techniques de palissade 9
I.9.1.3. Technique du Mulch 9
I.9.1.4. Méthode aérodynamique (désensablement par le vent) 10
I.9.2. La lutte biologique 11
I.10. DISPOSITIONS SPECIALES POUR LA CONCEPTION DES TRACES FERROVIAIRE EN ZONE DUNAIRE 12
I.11. Conclusion 12
II. RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE 13
II.1. TRANSPORT FERROVIAIRE 14
II.2. IMPORTANCE DU CHEMIN DE FER 14
II.3. STRUCTURE ACTUELLE DU RESEAU FERROVIAIRE DU PAYS 14
II.3.1. Rocade ferroviaire nord et ses dessertes 15
II.3.2. Rocade ferroviaire des hauts plateaux 16
II.3.3. Boucle Sud – Ouest 17
II.3.4. Boucle de Sud Est 17
II.3.5. Pénétrante Ouest 18
II.3.6. Pénétrante centre 18
II.4. Signalisation et contrôle de vitesse 19
III. PRESENTATION DU PROJET 20
III.1. INTRODUCTION 20
III.2. DESCRIPTION DU PROJET 20
III.2.1. Installations fixes de la nouvelle ligne 21
III.3. LES OBJECTIFS DU PROJET 22
III.4. CARACTERISTIQUES DE LA LIGNE 23

III.5. LOCALISATION DE PROJET 23
III.6. Présentation de la wilaya de Touggourt 23
III.7. Contexte géomorphologique de la région 24
III.8. Caractéristiques climatiques 25
III.9. Economie 26
III.10. Infrastructure de base de la wilaya de Touggourt 28
IV. TRACE EN PLAN 29
IV.1. TRACE EN PLAN 29
IV.2. Rappel des conditions et les règles à respecter dans le tracé en plan 29
IV.3. PARAMÉTRES DE CONCEPTION DU TRACÉ 30
IV.3.1. Longueur minimum des éléments du tracé 30
IV.3.2. Longueur minimum de raccordement progressif 30
IV.3.3. Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin) 31
IV.4. Le Dévers 31
IV.4.1. Dévers Théorique (d_{th}) 31
IV.4.2. Dévers Pratique (d_p) 32
IV.5. APPLICATION AU PROJET 33
IV.5.1. LA BOUCLE DE RACCORDEMENT 36
IV.6. LE TRACE RETENU 36
V. PROFIL EN LONG 37
V.1. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG 37
V.1.1. Les déclivités droites 37
V.1.2. Raccordements de déclivités 37
V.2. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG 38
V.3. PARAMETRE DU TRACE A RESPECTER 38
V.3.1. Déclivité maximale 38
V.3.2. Rayon admissible en raccordements de profil en long 38
V.3.3. Longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements 39
V.4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN 40
V.5. LE PROFIL EN LONG RETENU 40
V.5.1. Pleine voie 40
V.5.2. BOUCLE DE RACCORDEMENT 40
VI. ETUDE DES CONTRAINTES 41
VI.1. INTRODUCTION 41
VI.2. LES CONTRAINTES 41
VI.2.1. Les conduites d'eau 41
VI.2.2. Les Gazoducs 42
VI.2.3. Lignes électriques 44
VI.2.4. Routes et chemins 45
VI.3. Les ouvrages d'art 45
VI.3.1. Ponts rails : 45
VI.3.2. Franchissements inférieurs de la voie ferrée (ponts routes) 45
VI.3.3. Caractéristiques des passages supérieur 46

VI.4. CONCLUSION 46
VII. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 47
VII.1. INTRODUCTION 47
VII.2. ÉTUDE GEOLOGIQUE 47
VII.2.1. Contexte géologique général de la zone objet de l'étude 47
VII.2.1.1. Litho stratigraphie 48
VII.2.1.1.1. Tertiaire 48
VII.2.1.1.2. Quaternaire 48
VII.2.2. La séismicité de la zone d'étude 49
VII.2.3. Risques géologiques 49
VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE 50
VII.3.1. Plate-forme 50
VII.3.1.1. Section déblais 50
VII.3.1.2. Section remblais 51
VII.3.1.3. Lot ouvrage d'art et bâtiment 52
VII.3.1.4. Zone d'emprunt 53
VII.4. Interpretation des resultats de la campagne geologique 55
VII.4.1. Analyse des matériaux des zones d'emprunts 55
VII.4.1.1. Puit de reconnaissance 55
VII.4.1.2. Résultats des essais au laboratoire 56
VII.4.2. Analyse des matériaux des déblais remblais 57
VII.4.2.1. Résultats de Sondage mécanique 57
VII.4.2.2. Résultats des puits de reconnaissance 59
VII.4.2.3. Essais de pénétration dynamique 60
VII.4.2.4. Les résultats des essais en laboratoire 61
VII.5. LITHOLOGIES AFFECTÉES PAR LE COULOIR 64
VII.6. Réutilisation des matériaux des déblais 65
VII.7. CONCLUSION 65
VIII. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE 66
VIII.1. INTRODUCTION 66
VIII.2. Armement de la voie 66
VIII.2.1. Le Rail 66
VIII.2.2. Les traverses 67
VIII.2.3. Les attaches 67
VIII.2.4. Les appareils de voie 68
VIII.3. STRUCTURE D'ASSISE 68
VIII.4. CONSTRUCTION GENERALE 69
VIII.4.1. Couche d'assise 69
VIII.4.1.1. Couche de ballast 69
VIII.4.1.2. Sous couche 69
VIII.4.1.3. Plate- forme 69
VIII.4.1.4. Couche de forme 70
VIII.5. Dimensionnement de la structure d'assise 70

VIII.5.1. Calcul les épaisseurs des couches de ballast et sous-ballast de pleine voie . 70
VIII.5.2. Structure d'assise pour La boucle de raccordement 71
VIII.6. Dimensionnement de la couche de forme 71
VIII.7. Structure d'assise retenue 72
IX. ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT 73
IX.1. INTRODUCTION 73
IX.2. PRESENTATION GENERALE ET DESCRIPTION DU CONTEXE HYDROLOGIQUE 73
IX.2.1. Situation géographique de la zone d'étude 73
IX.3. CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE 75
IX.3.1. Température 75
IX.3.2. Vitesse du Vent 75
IX.3.3. Pluviométrie 75
IX.3.4. Pluies annuelles 76
IX.3.5. Précipitations mensuelles 76
IX.3.6. Les pluies maximales journalières 76
IX.4. Les Zones inondables 77
IX.5. BASSINS VERSANTS 78
IX.5.1. La délimitation des bassins versants 78
IX.5.2. Les caractéristiques des bassins versants 78
IX.6. CALCUL HYDRAULIQUE 79
IX.6.1. Temps de concentration 79
IX.6.2. Coefficient de ruissellement 80
IX.6.3. Calcul du débit maximal dans les bassins 80
IX.6.3.1. La méthode rationnelle 81
IX.6.3.2. La méthode CRUPEDIX (1980-1982) 81
IX.6.3.3. La Formule de transition 82
IX.7. Application sur le projet 82
IX.7.1. Exemple de calcul de temps de concentration 82
IX.7.2. Calcul des débits de projet par les différentes méthodes : 82
IX.8. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal 84
IX.8.1. Méthode de MANNING STRICKLER 84
IX.8.2. Vérification des condition auto curage 84
IX.9. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal 84
IX.9.1. Dimensionnement des buses 84
IX.10. Résultats de calcul hydraulique 86
IX.11. Assainissement longitudinal 87
IX.11.1. Dimensionnement des fossés 87
IX.11.2. Application sur le projet 88
IX.11.2.1. Calcul des débits d'apport 88
IX.11.2.2. Dimensionnement des fossés 88
IX.12. Conclusion 89
X. PROFIL EN TRAVERS 90

X.1. INTRODUCTION 90
X.2. Profil en travers types 90
X.3. Profil en travers courant 91
X.4. LES ELEMENTS DE PROFIL EN TRAVERS 91
X.5. CONSTITUANTS DE PROFIL EN TRAVERS 91
X.6. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET 92
X.6.1. Pleine voie 92
X.6.2. Profil en travers de la boucle de raccordement 92
X.6.3. La gare 93

XI. TERRASSEMENT 94
XI.1. Introduction 94
XI.2. Section en déblai 94
XI.3. Section en remblai 94
XI.4. Etude de stabilité 95
XI.5. CALCUL DES VOLUMES DES TERRASSEMENT 95
XI.6. CONCLUSION 96

X. CONCEPTION DE LA GARE 97
X.1. INTRODUCTION 97
X.2. TYPES DES GARES 97
X.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS 98
X.4. GARAGE FRANC 98
X.5. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT 99
X.6. HEURTOIR 99
X.7. Les Quais 100
X.7.1. La Hauteur Du Quai (H) 100
X.7.2. Distance par rapport à l'axe de la voie 100
X.7.3. L'entre axe des quais 100
X.8. CONCEPTION DE LA GARE DE PROJET 100
X.8.1. Tracé en plan 102
X.8.2. Profil en Long 102
X.8.3. Profil en travers 102
X.9. Les appareils de vois et leurs implantations 103
X.9.1. ASSAINISSEMENT DE LA GARE 104
X.10. CONCLUSION 104

XIII. SIGNALISATION FERROVIAIRE : 105
XIII.1. INTRODUCTION : 105
XIII.2. Signalisation lumineuse : 105
XIII.3. Signalisation mécanique : 105
XIII.4. ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION : 105
XIII.5. FONCTIONS DES SIGNAUX : 105
XIII.6. IMPLANTATION LONGITUDINALE 106
XIII.7. LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION. 106
XIII.8. Cantonnement 106

XIII.9. LA VISIBILITÉ DES SIGNAUX 107
XIII.10. SYSTEME DE SIGNALISATION PROPOSE POUR LE PROJET 107
XIII.10.1. Enclenchements électroniques 107
XIII.10.2. Poste de commande centralise 107
XIII.10.3. Système de signalisation ERTMS/ETCS 107
XIII.10.4. Système de Cantonnement 108
XIII.10.5. Les principaux signaux pouvant être utilisés 108
XIII.10.6. Electrification 108
XIII.11. CONCLUSION 108
XIV. ETUDE D'IMPACT DE L'INFRASTRUCTURE SUR L'ENVIRONNEMENT 109
XIV.1. Introduction 109
XIV.2. Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement 109
XIV.3. Description du milieu 109
XIV.3.1. Milieu physique 109
XIV.3.1.1. Climat 109
XIV.3.1.2. Géomorphologie 109
XIV.3.1.3. Géologie et lithologie 109
XIV.3.1.4. Hydrologie et hydrogéologie 110
XIV.3.1.5. Sismologie 110
XIV.3.1.6. Qualité de l'air 110
XIV.3.2. Milieu biologique 110
XIV.3.2.1. Végétation 110
XIV.3.2.2. Faune 110
XIV.3.3. Milieu humain 110
XIV.3.3.1. Démographie 110
XIV.3.4. Activité économique 110
XIV.3.4.1. L'Agriculture 110
XIV.3.4.2. L'industrie 111
XIV.3.4.3. Le commerce 111
XIV.3.5. Les infrastructures de base 111
XIV.3.5.1. Les infrastructures ferroviaires 111
XIV.3.5.2. Les infrastructures aéroportuaires 111
XIV.3.5.3. Les infrastructures routières 111
XIV.4. Evaluation des impacts 111
XIV.4.1. Identification des impacts 111
XIV.4.1.1. Milieu physique 112
XIV.4.1.2. Impacts sonores 112
XIV.4.1.3. Milieu biologique 113
XIV.5. Impacts positifs 113
XIV.6. MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES : 113
XIV.6.1. Milieu physique 113
XIV.6.2. Milieu biologique 114
XIV.6.3. Milieu sonore 114

XIV.7. Conclusion 114
XV. DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF 115

CONCLUSION GENERALE ……117

ANNEXES

Liste des tableaux

TABLEAU III. 1 : INFORMATION SUR LA WILAYA TOUGGOURT. 24
TABLEAU IV. 1: VALEURS MINIMALES DES ELEMENTS DE TRACE SELON SNTF. 30
TABLEAU IV. 2: VALEURS LIMITES DE VARIATION DE DEVERS EN FONCTION DE LA LONGUEUR.32
TABLEAU IV. 3 : LES VALEURS LIMITE GEOMETRIQUE DE TRACE. 33
TABLEAU IV. 4: RECAPITULATIF DES PARAMETRES DU TRACE. 35
TABLEAU V. 1: LIMITES DES VALEURS DES RAYONS DE RACCORDEMENT EN PL 39
TABLEAU V. 2: LIMITES DES VALEURS DE LA LONGUEUR MINIMALE DES DECLIVITES CONSTANTES. 39
TABLEAU V. 3: PARAMETRE PROFIL EN LONG. 40
TABLEAU VI. 1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CONDUITS D'ASSAINISSEMENT TRAVERSE 42
TABLEAU VI. 2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES LIGNES ELECTRIQUES TRAVERSEES 44
TABLEAU VI. 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DE RETABLISSEMENTS DES PASSAGES A NIVEAUX. 45
TABLEAU VI. 4: CARACTÉRISTIQUES DES PASSAGES SUPÉRIEUR. 46
TABLEAU VII. 1: PROGRAMME GEOTECHNIQUE DES SECTIONS EN DEBLAI. 51
TABLEAU VII. 2: PROGRAMME GEOTECHNIQUE DES SECTIONS EN REMBLAI. 51
TABLEAU VII. 3: PROGRAMME GEOTECHNIQUE POUR LES OUVRAGES D'ART ET BATIMENT 53
TABLEAU VII. 4: PROGRAMME GEOTECHNIQUE POUR LES ZONES D'EMPRUNT 54
TABLEAU VII. 5: RESULTATS DES PUIS DE RECONNAISSANCE SUR LES EMPRUNTS. 56
TABLEAU VII. 6: RESULTATS DES ESSAIS AU LABORATOIRE DES ZONES D'EMPRUNT. 56
TABLEAU VII. 7: SUITE RESULTATS DES ESSAIS AU LABORATOIRE DES ZONES D'EMPRUNT. 57
TABLEAU VII. 8: RESULTATS DES SONDAGES EFFECTUES SUR LE TRONÇON D'ETUDE 58
TABLEAU VII. 9: RESULTATS DES PUITS DE RECONNAISSANCE. 59
TABLEAU VII. 10 : RESULTATS DES ESSAIS PHYSIQUES ET CHIMIQUES. 62
TABLEAU VII. 11: RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES. 63
TABLEAU VII. 12: CARACTERISTIQUES G GEOTECHNIQUE MOYENNES DE LA FORMATION AL. .. 64
TABLEAU VII. 13: CARACTERISTIQUES G GEOTECHNIQUE MOYENNES DE LA FORMATION MS... 64
TABLEAU VIII. 1: LES CARACTERISTIQUES DE RAIL UTILISE DANS LE PROJET. 66
TABLEAU VIII. 2: EPAISSEUR DE LA COUCHE DE FORME (UIC 719R). 71
TABLEAU VIII. 3: LES PROPRIETES D'ASSISE DE LA VOIE. 72
TABLEAU IX. 1: TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES. 75
TABLEAU IX. 2: VITESSE DU VENT MENSUELLES EN M/S. 75
TABLEAU IX. 3: AJUSTEMENT A UNE LOI LOG-NORMALE DES PLUIES ANNUELLES. 76
TABLEAU IX. 4: REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS, STATION DE LA REGION. 76
TABLEAU IX. 5: PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES. 76
TABLEAU IX. 6 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS TOUT LE LONG DE TRACE. 79
TABLEAU IX. 7: COEFFICIENTS PARTIELS DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT. 80
TABLEAU IX. 8: TABLEAU RECAPITULATIF DES PARAMETRES HYDRAULIQUES DES BASSINS VERSANTS POUR LES TROIS PERIODES DE RETOUR 83
TABLEAU IX. 9: TABLEAU RECAPITULATIF DES DEBITS MAX DES ECOULEMENTS QUI TRAVERSENT LE TRACE POUR 83
TABLEAU IX. 10: LISTING DES OUVRAGES DE DRAINAGE TRANSVERSAL PROJETES 86

Tableau IX. 11: débit apport cas déblai……..……88
TABLEAU X. 1: LES CONSTITUANTS DE PROFIL EN TRAVERS. 91
TABLEAU XI. 1 : SECTION DES DEBLAIS..... 94
TABLEAU XI. 2 : SECTION DES REMBLAIS. 94
TABLEAU XI. 3: RECAPITULATIF DES VOLUMES DE TERRASSEMENT 95
TABLEAU XI. 4 : RECAPITULATIF DES VOLUMES DES COUCHES D'ASSISE..... 95
TABLEAU XII. 1 : LES LONGUEURS UTILES. 102
TABLEAU XII. 2: PARAMETRES DE L'APPAREIL DE VOIE UIC54-500-1/12. 103
TABLEAU XII. 3: : IMPLANTATION DES ADV..... 103
TABLEAU XIV. 1 : LES IMPACTS SUR MILIEU PHYSIQUE..... 112
TABLEAU XIV. 2: LES IMPACTS SUR MILIEU BIOLOGIQUE..... 113
TABLEAU XV. 1: DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF..... 115

Liste de figures

FIGURE I. 1 : RISQUE DUE A L'ENSABLEMENT. 2
FIGURE I. 2: CONSEQUENCES DE L'ENSABLEMENT. 3
FIGURE I. 3: DESENSABLEMENT LIGNE TOUGGOURT- HASSI MESSAOUD. 3
FIGURE I. 4: LA VITESSE DU VENT EN FONCTION DE L'ALTITUDE V= F(H) 4
FIGURE I. 5 : BARRES GROUPEES DES FREQUENCES DES VENTS POUR CHAQUE DIRECTION. 5
FIGURE I. 6: LES MODES D'ENTRAINEMENT DES PARTICULES PER LE VENT. 7
FIGURE I. 7: HAIES ARTIFICIELLES. 9
FIGURE I. 8: EPANDAGE DE DERIVES DE PETROLE (BITUME) POUR PROTEGER LA VOIE FERREE CONTRE L'ENSABLEMENT (BISKRA_ TOUGGOURT). 10
FIGURE II. 1: FUTURE INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES EN ALGERIE. 13
FIGURE II. 2: LA ROCADE FERROVIAIRE NORD ET SES DESSERTES. 16
FIGURE II. 3: ROCADE FERROVIAIRE DES HAUTS PLATEAUX. 16
FIGURE II. 4: BOUCLE SUD-OUEST 17
FIGURE II. 5: LA BOUCLE SUD- EST. 17
FIGURE II. 6: PENETRANTE OUEST. 18
FIGURE II. 7: PENETRANTE CENTRE. 18
FIGURE III. 1: RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE 20
FIGURE III. 2: LA NOUVELLE LIGNE TOUGGOURT - HASSI MESSAOUD. 21
FIGURE III. 3: CARTE SATELLITAIRE DE TRONÇON OBJET D'ETUDE 22
FIGURE III. 4 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE PROJET. 23
FIGURE III. 5: GEOLOCALISATION DE LA WILAYA TOUGGOURT SUR LA CARTE D'ALGERIE. 24
FIGURE III. 6: MORPHOLOGIE REGIONALE DANS LAQUELLE SE TROUVE LA ZONE DE L'ETUDE. 25
FIGURE III. 7: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE. 25
FIGURE III. 8: VITESSE DE VENT 26
FIGURE III. 9: FABRICATION DE BRIQUE. 27
FIGURE III. 10 : PALMERAIES A TOUGGOURT. 27
FIGURE III. 11: INFRASTRUCTURE DANS WILAYA TOUGGOURT 28
FIGURE IV. 1: LES ELEMENTS DE TRACE EN PLAN. 29
FIGURE IV. 2: SCHEMA DU DEVERS. 31
FIGURE V. 1: ÉLEMENT GEOMETRIQUE DU PROFIL EN LONG. 37
FIGURE VI. 1 : CONDUITS DES EAUX USEES AU PK 3+509 41
FIGURE VI. 2 : CONDUITE D'ASSAINISSEMENT QUI TRAVERS LA BOUCLE. 42
FIGURE VI. 3 : CROISSEMENT DE CONDUITE DE GAZ AVEC L'AXE AU PK 9+878. 43
FIGURE VI. 4: EXEMPLE D'UN OUVRAGE DE PROTECTION. 43
FIGURE VI. 5: INTERSECTION AU NIVEAU DE PK 0+800. 45
FIGURE VI. 6: VUE EN ELEVATION. 46
FIGURE VII. 1:GEOLOGIE GENERALE LE LONG DU COULOIR OBJET DE L'ETUDE. 47
FIGURE VII. 2: CARTE SISMIQUE DE L'ALGERIE DE LA DISTRIBUTION DES ZONES SISMIQUES. 49
FIGURE VII. 3: ZONES D'EMPRUNT. 54
FIGURE VII. 4: PUITS DE RECONNAISSANCE E1-1. 55
FIGURE VII. 5 : SONDAGE S-PS 0.8 (0- 5.45M). 58
FIGURE VII. 6: RESULTATS D'UN PUIT DE RECONNAISSANCE. 59
FIGURE VII. 7: PENETROGRAMME. 60

Liste de figures

FIGURE VIII. 1: PROFIL ET CARACTERISTIQUES DU RAIL UIC 60 E1-(UIC 60). 67
FIGURE VIII. 2: RAIL UIC 60 – E1 UTILISE DANS LE PROJET. 67
FIGURE VIII. 3: LES TRAVERSES UTILISEES DANS LE PROJET. 67
FIGURE VIII. 4: LES ATTACHES ELASTIQUES 68
FIGURE VIII. 5 : LA SEMELLE 68
FIGURE VIII. 6: COUCHES D'ASSISE AVEC PLATEFORME. 69
FIGURE VIII. 7: SCHEMA ILLUSTRATIVE QUI MONTRE LES EPAISSEURS DE COUCHE D'ASSISE. ... 70
FIGURE VIII. 8: INFRASTRUCTURE SUPERSTRUCTURE TYPE DE PROJET. 72
FIGURE VIII. 9: INFRASTRUCTURE SUPERSTRUCTURE TYPE DE LA BOUCLE. 72
FIGURE IX. 1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET. 73
FIGURE IX. 2 : SITUATION DE L'OASIS DE TOUGGOURT. 74
FIGURE IX. 3 : OUAD RIGH 74
FIGURE IX. 4: ZONE INONDABLE DU PK 2+225 AU PK 2+425 77
FIGURE IX. 5: ZONE INONDABLE DU PK 11 +375 AU PK 12 +375 77
FIGURE IX. 6: DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS. 78
FIGURE IX. 7: DIMENSIONS D'UNE BUSE. 84
FIGURE IX. 8: COUPE SCHEMATIQUE D'UN FOSSE TRAPEZOÏDALE. 87
FIGURE IX. 9: LE FOSSE ADOPTE POUR LA GARE. 89
FIGURE X. 1 : PROFIL EN TRAVERS TYPES 90
FIGURE X. 2: PROFIL EN TRAVERS TYPE PLAINE VOIE. 92
FIGURE X. 3: PROFIL EN TRAVERS EN GARE. 93
FIGURE XII. 1 : GARAGE FRANC. 98
FIGURE XII. 2: LONGUEUR UTILE. 99
FIGURE XII. 3 : PHOTO REPRESENTATIVE D'UN HEURTOIR. 99
FIGURE XII. 4: LA HAUTEUR DU QUAI ET LA DISTANCE PAR RAPPORT A L'AXE DE LA VOIE. 100
FIGURE XII. 5 : GARE DE TOUGGOURT. 101
FIGURE XII. 6: LA HAUTEUR DU QUAI ET LA DISTANCE PAR RAPPORT A L'AXE DE LA VOIE DANS GARE TOUGGOURT. 101
FIGURE XII. 7: SCHEMA DE L'APPAREIL DE VOIE. 103

Liste des symboles et abréviations

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

Kc	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K_{St}	Coefficient de rugosité	-
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m^3/s
Qps	Débit a plein section	m^3/s
Qa	**Débit d'apport**	m^3/s

Abréviation désignation

SNTF : Société Nationale des Chemins de Fer.
ANESRIF : Agence Nationale des Etudes et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
ONM : l'Office National de la Météorologie.
CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.
RPOA : Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art.
APD : Avant-Projet Détaillé
HM : Hassi Messaoud
Pk : Point kilométrique
FSR : Face supérieure de roulement
ADV : Appareils de voie
GF : Garage franc.
VP : Voie principale.
RN : Route nationale.
PS : Passage supérieur
PST : Partie supérieure du terrassement
D : Dunes actuelles
Asg : Sables gypseux
A : Croûtes salines
Al : Sable fin de limons avec gypse
GTR : Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme
Ms : Miocène supérieur
QSi : Classe du sol selon UIC
LA : Essai Los Angelos
MDE : Essai Micro – deval.
CBR : Essai de CBR
BV : Bassin versant
EU : Eau usée
PCC : centre de commande centralisé.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Le désenclavement consiste à construire des infrastructures de transport afin d'insérer de territoires isolés dans les réseaux existants, de les sortir de leur isolement et de mieux les intégrer dans le système monde.

La mobilité contribue au développement économique d'un pays. C'est pourquoi l'Algérie s'efforce d'agir dans ce domaine. En matière de mobilité physique, le secteur des transports a connu un développement spectaculaire ces dernières décennies. L'objectif de telles infrastructures est de rendre le voyage des êtres humains et le transport des marchandises plus efficaces. Cela permet en quelque sorte d'aller beaucoup plus vite et d'avoir une économie plus efficiente. Donc l'effet des infrastructures sur la croissance et la productivité est très important.

Dans le cadre du processus de développement global l'Algérie a mis tous les moyens pour le développement de son transport ferroviaire en engageant le dédoublement, la modernisation et l'électrification du réseau ferré en le dotant des derniers systèmes de signalisation et de communication, La construction des gares modernes pour les passagers et les marchandises a été aussi lancé un peu partout à travers le territoire national

Dans le cadre de désenclavement et développement de la région Sud-est du pays la wilaya de Touggourt a bénéficié, au cours des dernières années, de divers projets visant à moderniser les infrastructures de base et le secteur des transports et à booster ainsi le développement socioéconomique dans la région.

La création d'une plateforme logistique port sec à Touggourt pour accompagner et promouvoir le développement des régions du Sud versés dans différents créneaux économiques.

Parmi ces projets, figure la nouvelle voie ferrée qui entre dans le cadre de la boucle ferroviaire Sud-est, appelée à assurer l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes. Cette boucle d'un linéaire global de 540 km est composée des lignes principales desservant les wilayas de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla, Touggourt et El-Oued, avec une vitesse de 220 km/h pour les trains de voyageurs et de 80 km/h pour ceux de transport de marchandises. Aussi le développement du transport ferroviaire dans la région passe notamment par la modernisation et l'électrification de la ligne existante Biskra-Touggourt.

Ce projet contribuera au développement socio-économique de la région et soulagera le réseau routier d'une partie du trafic de marchandises notamment.

Le projet fin d'étude a pour objet l'étude APD sur un tronçon de 12 km de la ligne Touggourt - Hassi Messaoud, le travail s'articule sur les aspects suivants :

- Etude géométrique, géologique et géotechnique ;
- Etude de phénomène de l'ensablement ;
- Etude des contraintes ;
- Dimensionnement de la structure d'assise et Terrassement ;
- Etude hydrologique et hydraulique ;
- Profils en travers de la ligne projetée ;
- Aménagement de la nouvelle Gare voyageurs de Touggourt ;
- Signalisation et Impact sur l'environnement ;
- Enfin devis estimatif du projet.

Chapitre I Recherche bibliographique : Etude de l'ENSABLEMENT

I. L'ENSABLEMENT

I.1. Introduction

Le phénomène d'ensablement constitue l'une des manifestations les plus spectaculaires du phénomène de la désertification. Actuellement, il touche une superficie près de 1 333 775 km² (estimation par l'image stellite) soit 56% de la superficie totale de l'Algérie. Il constitue aussi un défi majeur auquel l'état algérien fait face depuis des dizaines d'années en allouant d'importants moyens financiers pour l'exécution de différents programmes de lutte contre l'ensablement et la fixation des dunes. Néanmoins, des ajustements s'avèrent nécessaires pour améliorer l'efficacité des techniques utilisées.

Le Sahara algérien est couvert d'impressionnants et gigantesques dépôts de sables du Grand Erg Occidental à l'ouest et du Grand Erg Oriental à l'est. La mobilisation par le vent de cet important stock de sable constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures de développement des régions arides et semi-arides comme c'est le cas de la région de l'Oued Righ. L'impact de ce risque majeur dans cette région se traduit par une progression rapide de deux phénomènes la désertification et l'ensablement qui compromet tout développement économique dans la région. Plusieurs infrastructures routières, hydro-agricoles, oasis et agglomérations sont perpétuellement menacées par les dunes mobiles dans la région de l'Oued Righ, Il en est de même pour la voie ferrée Biskra- Touggourt et continuité de la ligne qui en cours de réalisation Touggourt-Hassi Messaoud qui est coupée après chaque tempête de sable.

La problématique d'ensablement est d'une dimension prioritaire dans le cadre du développement des régions arides et semi-arides du pays. Il s'agit d'identifier les techniques les plus efficaces et proposer des solutions fiables et moins couteuses de lutte contre l'ensablement, ainsi que leurs modalités de mise en œuvre, susceptibles de jouer un rôle important pour satisfaire les exigences socioéconomiques des populations locales et dans la lutte contre la désertification.



Figure I. 1 : risque due à l'ensablement.

I.2. Conséquence de l'ensablement

- Mauvaise visibilité.
- Faire Blocage des travaux de réalisation de la voie.
- Circulation avec une vitesse réduite et limitée ou arrêt complet.
- Risque de déraillement et déviation hors la voie.



Figure I. 2: conséquences de l'ensablement.

Les désensablements, nécessitent des moyens matériels et humains, peuvent durer plusieurs jours ce qui bloque les travaux des sociétés concernées et par conséquent entraine des pertes économiques.



Figure I. 3: désensablement ligne Touggourt- Hassi Messaoud.

I.3.L'ensablement

Lorsque les grains de sable, transportés par les vents ou par les eaux, s'accumulent quelque part, sur le littoral, au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées plantées ou incultes, on dit qu'il y a ensablement. Dans ce cas les grains de sable sont transportés par les vents.

I.4. Facteurs d'ensablement

Les accumulations sableuses ou dunes, en se déplaçant, ensevelissent sous leur masse les cultures, jardins maraîchers, les habitations, les voies de communication (ligne ferroviaire, route, etc.), les réseaux d'adduction d'eau. Les dégâts matériels et socio-économiques ainsi causés peuvent devenir tellement graves que des programmes de lutte contre la désertification et l'ensablement deviennent alors un objectif prioritaire.
Cependant pour bien comprendre l'utilisation des moyens de lutte il faut d'abord connaître les deux facteurs qui contribuent à la formation et au déplacement des masses sableuses : **le vent et le sol.**

I.4.1. Le vent

Le vent est une masse d'air en mouvement selon une composante horizontale. L'air s'écoule des hautes vers les basses pressions. Le déplacement des particules du sol est lié à la direction, la vitesse et la durée du vent. Lorsqu'un vent souffle avec plus de fréquence dans une direction privilégiée, on parle de vent dominant. Au niveau du sol, la vitesse du vent est nulle. Le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne de la surface du sol, et sa vitesse augmente comme le logarithme de la hauteur (Figure I.4).
Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsqu'il est efficace (sa vitesse est supérieure à un seuil critique). La vitesse du vent est un facteur essentiel, car elle détermine la force d'entraînement du sable. Plus cette vitesse augmente, plus la capacité de transport s'accroît. Le second facteur est la taille et la densité des particules de sable. Les particules dont le diamètre avoisine 0,1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents.
Dans le cas de projet les vitesses de vent sont supérieures à 4m/s.

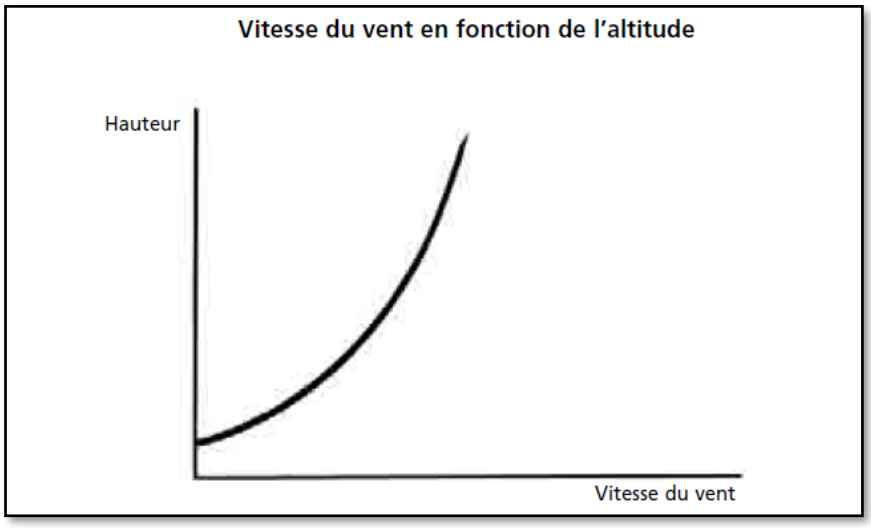


Figure I. 4: La vitesse du vent en fonction de l'altitude V= f(H) (extrait de Henin et al., 1960).

I.4.1.1.LE REGIME ET MOBILITE POTENTIELLE DES VENTS A TOUGGOURT :

I.4.1.1.1. Le régime annuel des vents dynamiques :

- Les vents du N (N 360) et ceux d'E (N90) ont la plus grande fréquence (respectivement 11.5 % et 10.81 %). Les vents du N sont renforcés par ceux du NNW et NW et NNE.
- Les vents de secteur ouest arrivent en 3 éme position.
- Les vents sud et ceux de secteur est ont la même fréquence approximativement.

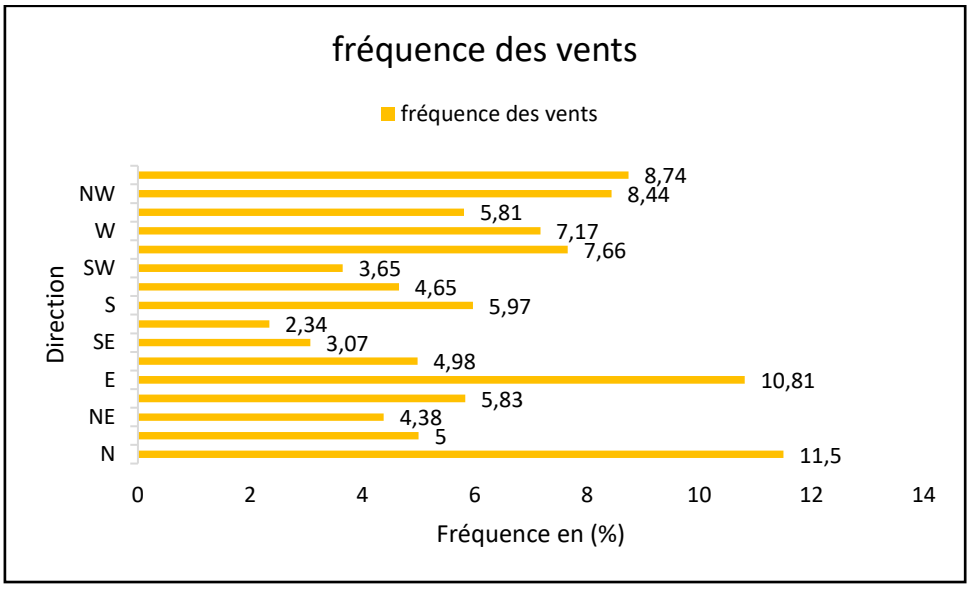


Figure I. 5 : Barres groupées des fréquences des vents pour chaque direction.

D'où Les directions de mobilité potentielles annuelles :

- En premier lieu : une mobilité vers le sud domine (N-S, NNW, SSE et NW, SE).
- Une mobilité E-W, aggravée par des mouvements de va-et vient E-W et W-E, ce qui annule partiellement les déplacements vers l'ouest, les vents de cette direction sont les plus fréquents après ceux de secteur N et ceux d'E.
- Une mobilité WSW (7.66%) / ENE (5.83%) ici aussi, des mouvements de va-et vient ENE – WSW (directions opposées).de même pour les directions WNW / ESE

I.4.1.1.2.Régime saisonnier des vents dynamiques à Touggourt :

✓ **En janvier, février et mars, août, octobre et novembre décembre :**

Les vents dynamiques de secteur N sont les plus fréquents et en 2 ^{éme} position en trouve les vents de secteur ouest, mais avec des nuances :

- En novembre : secteur N et secteur W ont une fréquence proche et/ ou similaire.
- En octobre : ce sont les vents d'E qui se placent en 2éme position.
- En août : en 2 éme position vents de secteur ouest et ceux de secteur sud.

- ✓ **Avril : mois de transition et de fort agitation éolienne.**
  - Les directions N et E ont la même fréquence (10%).
  - Les trois secteurs E, W, S s'équilibrent ; forte agitation (processus de déflation accrus).
- ✓ **Mai, juin, juillet et septembre** : les vents de secteur E sont les plus fréquents sauf en
  - Septembre : ils ont la même fréquence que ceux de secteur N.
  - En 2 éme position les vents de secteur N en revanche ;
  - Juin : les secteurs N-S et W ont la même fréquence (agitation éolienne).
  - Juillet : N et S ont la même fréquence.

Donc Prédominance de mouvements probables :

- Secteur N-Secteur Sud et secteur W- secteur E durant la première série de mois.
- Secteur E - secteurs W et secteur N – secteur sud pour le reste de la série de mois.

Par conséquent :

- La mobilité potentielle Nord- Sud est constante toute l'année.
- Celle ouest -est de janvier à mars, en août, et d'octobre à décembre.
- Elle s'inverse d'est- ouest d'avril à juillet et en septembre.
- Aussi on peut relever deux groupes de direction sont les plus fréquentes

(1) Nord- Sud Mais elle est la plus fréquentes à Touggourt, alors qu'elle vient en 2éme position du point de vue fréquence à H. Messaoud.

(2) Est- Ouest : la plus fréquence à H. Messaoud alors qu'elle arrive en 2 éme position à Touggourt.

Cependant comme les fréquences et les directions des ventes dynamiques sont très variables durant l'année et même durant la saison ce qui oblige à mettre des disposition de protection.

I.4.2.Le sol

Ce second facteur qui est déterminant dans la manifestation de l'ensablement. L'érosion éolienne est la manifestation de l'attaque du sol par le vent. Ce type d'érosion a toutes les chances de se produire quand le sol présente les caractéristiques suivantes :

- Meuble, sec et finement émietté.
- Surface uniforme.
- Couverture végétale absente ou clairsemée.
- Zone suffisamment étendue dans le sens du vent.

C'est dans les régions arides et semi-arides que l'érosion éolienne est la plus grave. Les sols, desséchés en surface durant de longs mois n'ont pas de protection superficielle.

I.5. L'état de la végétation

La végétation maintient la cohésion de la couche superficielle du sol, retient les particules, s'oppose à l'effet d'avalanche et constitue la meilleure protection contre les effets néfastes du vent. C'est pourquoi l'érosion éolienne est à craindre dans les régions arides et semiarides, où les formations végétales naturelles (arborées, arbustives et herbacées) sont clairsemées, rabougries ou inexistantes, et où la pluviométrie est faible et irrégulière.

De plus, l'exploitation irrationnelle de ces formations à croissance lente provoque une dégradation rapide du sol, qui est alors soumis à l'action des vents car il n'est plus protégé.

I.6. La nature du mouvement des particules

Varie selon leur dimension (figure I.6).

- Les plus grosses particules roulent ou glissent à ras de terre ; c'est le phénomène de reptation. Les grains de sable qui se déplacent de cette façon ont un diamètre compris entre 0,5 et 2 mm, suivant leur densité et la vitesse du vent. Lorsqu'ils commencent à avancer plus difficilement, suite à l'effet de freinage de la masse sableuse, le mécanisme de saltation devient possible.
- Les particules du sol de dimension moyenne (de 0,5 à 1,1 mm de diamètre) avancent par bonds successifs, selon un mécanisme appelé saltation. Après avoir sauté, ces particules retombent sous l'effet de la pesanteur ; 90 pour cent d'entre elles atteignent une altitude ne dépassant pas 30 cm, avec une amplitude au sol comprise en moyenne entre 0,5 et 1 m. Le phénomène de saltation est primordial pour déclencher l'érosion éolienne.
- Les particules très fines, d'un diamètre égal ou inférieur à 5 microns, sont projetées en l'air sous forme de poussière par l'impact des grains plus gros. Ces particules restent en suspension et peuvent être entraînées très loin sous forme de nuage de poussière, atteignant souvent 3 000 à 4 000 m d'altitude.

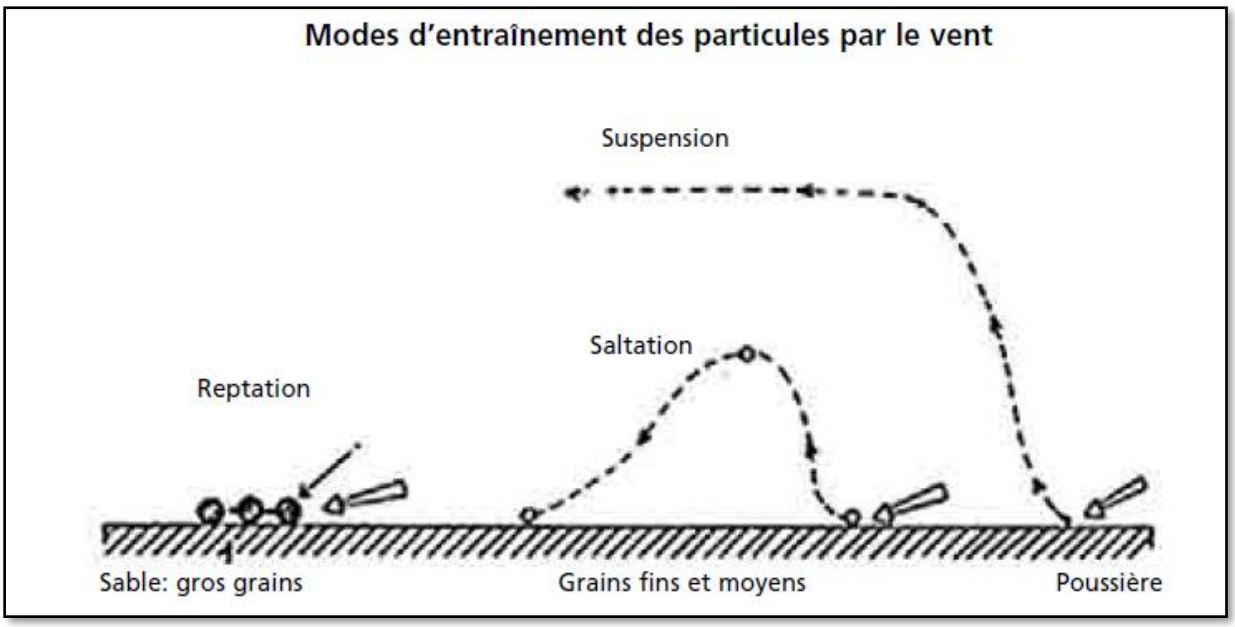


Figure I. 6: les modes d'entraînement des particules per le vent.

- La saltation c'est le mode qui présente un grand risque pour le cas de projet.

I.7.Etat des lieux par rapport au risque de l'ensablement du tronçon d'étude

Plusieurs types d'état des lieux ou de risque d'ensablement,

- Pollution du ballast ou ensablement sans dunes, zone urbanisée ou en voie d'urbanisation.
- Dunes isolées ou jointives latéralement prenant l'aspect de « sif ».

I.8.TYPES DE TRAITEMENT

Le principe fondamental de la fixation des dunes est d'empêcher le sable de se déplacer pendant un laps de temps suffisant pour permettre à une végétation naturelle ou plantée de s'y établir. Pour maîtriser l'ensablement, il faut réduire le phénomène de saltation, soit en stabilisant le sol, soit en atténuant le gradient de vitesse du vent près de la surface du sol. On peut également utiliser la vitesse du vent dans les techniques de gestion du sable et des masses dunaires ; le vent en grande vitesse prend du sable et dégage ainsi les sites ensablés. Au contraire, il se déleste quand sa vitesse diminue, et dépose alors le sable. À partir de ces principes généraux, on distingue deux types de fixation.

La fixation primaire permet soit de stabiliser mécaniquement les masses sableuses en ralentissant leur vitesse et leur déplacement, soit d'empêcher la formation de ces masses sableuses par :

- La mise en place de palissades et de clayonnages perpendiculaires au vent dominant ;
- L'épandage d'un produit ou matériau pouvant couvrir uniformément le sol (mulching)
- Le profilage de l'obstacle pour maintenir ou augmenter la vitesse du vent ; cette technique accroît la capacité de mobilisation et de transport du sable.

La fixation définitive ou biologique se fait par la mise en place et la protection d'une couverture végétale ligneuse et/ou herbacée permanente.

I.9. Les techniques de fixation des dunes

Plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement sont utilisées. Elles peuvent être subdivisées en deux catégories de lutte mécanique et biologique :

I.9.1. FIXATION PRIMAIRE « La stabilisation mécanique des dunes »

Dans la plupart des cas, la stabilisation mécanique est le préalable indispensable à la fixation durable des sables mobiles et des édifices dunaires à court et moyen terme. Elle empêche le sable d'être mobilisé pendant un temps assez long afin de permettre à la végétation de s'installer

Elles regroupent toutes les techniques de stabilisation des masses sableuses en mouvement. Ces techniques, malgré leur variabilité apparente, se subdivisent en quatre groupes :

- Haies Artificielles et Barrières.
- Techniques de la palissade.
- Techniques du paillage ou mulching.
- La méthode aérodynamique.
- Techniques de désensablement.

Dans le cas de projet je propose les techniques suivantes ;

Les solutions proposées sont des catégories : simples ou combinant les différentes techniques selon les caractéristiques du milieu traversé par le projet ferroviaire. Ce sont ;

I.9.1.1. Haies artificielles et barrières

Utilisation des sacs remplis de déblais de petites dimensions (sable, tuf, cailloux de diamètre < 10 cm), les sacs peuvent être en jute ou autre matière résistant aux fortes températures et leurs dimensions sont approximativement de 70 cm de longueur et 35 – 40 cm de hauteur. Ces sacs serviront à édifier des barrières.

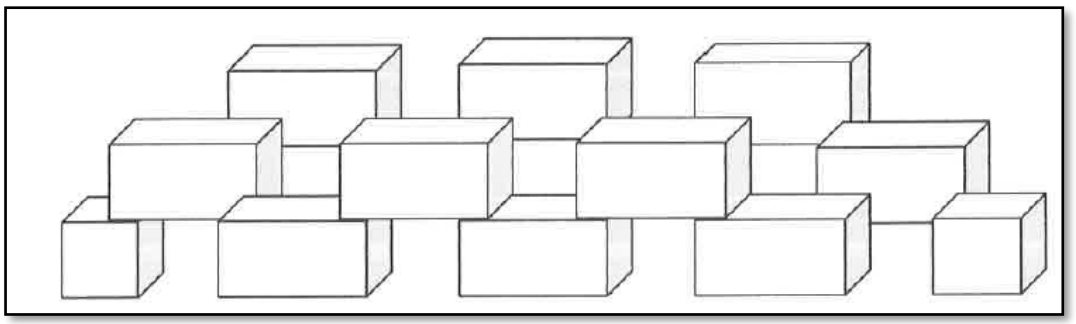


Figure I. 7: haies artificielles.

I.9.1.2.Techniques de palissade

Elle se base sur l'emplacement des obstacles, tels les palissades, dans la trajectoire éolienne. On assiste à une accumulation du sable autour de l'obstacle par le biais de la réduction de la vitesse du vent. Les palissades sont des obstacles linéaires exposés aux vents dominants pour en réduire la vitesse et provoquer à son niveau le dépôt et l'accumulation du sable transporté.

La nature de la palissade diffère selon les matériaux utilisés : pour le projet les matériaux utilisés est le palmes.

a) Palissade en palmes

L'approvisionnement en palmes dépend de l'importance des oasis et des utilisations traditionnelles qui en sont faites. La récolte des palmes se fait à deux époques de l'année en Mars – avril à l'occasion de la pollinisation et en Octobre – novembre au moment de la cueillette des dattes

I.9.1.3.Technique du Mulch

Il ne s'agit plus dans ce cas d'agir sur la vitesse du vent, mais plutôt de protéger le sol ou d'augmenter sa cohésion. Cette technique consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation, les procédés utilisés sont divers :

a) Couverture végétale

La couverture uniforme du sol par des matériaux ligneux généralement inertes (paille, herbes sèches, résidus agricoles, branchages, palmes…) présente l'avantage d'empêcher le phénomène de saltation et de s'opposer ainsi au déplacement du sable. Elle contribue en outre à réduire l'évaporation de l'eau du sol et à améliorer sa structure en y introduisant des matières organiques ce qui permet, de créer des conditions favorables au développement de la végétation.

b) Couverture à base de produits pétroliers

C'est une méthode qui a été initiée durant les années 60 en Libye. Elle se réalise par épandage d'huiles lourdes ou d'autres dérivés de pétrole (bitume) sous forme d'une pellicule très mince, de l'ordre de 5 mm. L'expérience Algérienne (était déjà utilisé dans la ligne existant Biskra - Touggourt) dans, qui date déjà d'une dizaine d'années a porté sur trois variantes de traitement (en plein à raison de 2 à 9 tonnes par hectare, en bande parallèles ou en V, de 1m de large.
Cependant ces produits ont le plus souvent été appliqués sur des surfaces limitées, à l'exception cependant d'huiles dérivées du pétrole (le bitume), utilisées à grande échelle, l'emploi de cette technique soulève de nombreux inconvénients même pour les pays pétroliers où les produits employés sont disponibles et à prix réduit. L'aspect polluant de ces produits constitue par ailleurs un inconvénient qui ne milite nullement en faveur de leur utilisation. Ils sont d'ailleurs très salissants et difficilement dégradables et donnent souvent au site un aspect désagréable.



Figure I. 8: Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra_ Touggourt).

I.9.1.4.Méthode aérodynamique (désensablement par le vent)

Ce procédé qui fait travailler l'énergie du vent contre lui-même est le plus ingénieux de tous les procédés de désensablement. Il s'agit de techniques qui utilisent le vent lui – même pour évacuer le sable grâce à sa force et à sa vitesse. Les aménagements ne doivent pas entraver la circulation du sable ; il faut donc informer les populations et mettre en œuvres des procédés élaborés, copiés sur des pratiques anciennes, pour évacuer le sable grâce à l'énergie éolienne.

Ce type de déblayage du sable repose sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse et de la direction du vent, sur des regains de vitesse ou des turbulences qui permettent

au vent de reprendre les accumulations par augmentation de sa capacité de charge. On fait du vent un agent de transport et de nettoyages plus efficace.

Cette méthode s'applique de deux façons différentes ;

- soit en lui faisant évacuer des dépôts de sable indésirables par des procédés qui accroissent sa vitesse au contact de tel dépôt.

- soit en profilant les obstacles rencontrés par le vent chargé de sable pour sa vitesse ne soit pas diminuée à leur contact. L'utilisation du vent pour dégager ou empêcher l'amoncellement du sable est bien comprise de certaines populations des zones arides Algérienne confrontées au danger de l'ensablement.

I.9.2. La lutte biologique

Avant tout travaux de fixation, il faut savoir que toute méthode qui vise à stabiliser les dunes à pour objectif de créer de nouvelles conditions pour que les plantes puisent se développer.
Les dunes possèdent une végétation naturelle spécifique et physiologiquement adaptée aux conditions locales, mais celle – ci disparaît à cause de la pression humaine et du changement des conditions climatiques. Les plantes qui pourront remplacer cette végétation devraient être sélectionnées pour répondre aux exigences difficiles du milieu. Pour ce faire, les espèces végétales utilisables doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- Être adaptées aux conditions locales.
- Être rustiques et résistantes à la sécheresse.
- Être peu exigeantes en éléments nutritifs.
- Supporter de gros écarts de température entre le jour et la nuit.
- Être résistants aux vents violents, au déchaussement et à l'ensevelissement.
- Avoir un enracinement profond.
- Avoir un développement initial rapide afin de fixer et protéger le sol dans un bref délai.
- Se régénérer naturellement et améliorer le sol.

Les espèces autochtones doivent être utilisées en priorité. Lorsqu'il est difficile de trouver dans la flore locale des espèces capables d'une part de résister aux conditions difficiles de la dune et d'autre part de la fixer rapidement, le recours aux espèces exotiques pour la fixation initiale peut être envisagé. En plus de ces qualités d'ordre environnemental, d'autres d'ordre « socio - économique » sont recherchées.

On distingue trois processus lors de la stabilisation végétale des dunes qui sont :

- Le développement artificiel du couvert végétal (reboisement, semis direct).
- La régénération naturelle du couvert végétal (la mise en défens).
- Le développement semi – naturel de la végétation.

I.10. DISPOSITIONS SPECIALES POUR LA CONCEPTION DES TRACES FERROVIAIRE EN ZONE DUNAIRE

Quelques dispositions énumérées ci-dessous permettent de réduire les risques d'ensablement

- Concevoir un tracé en plan et un profil en long collant au terrain naturel, ce qui permet de réduire fortement les risques d'ensablement.
- Suivre le terrain en léger remblai, en évitant les dunes.
- Eviter les champs des dunes mobiles.
- Neutraliser autant que possible les dunes de part et d'autre du tracé, en les déblayant ou en les utilisant en emprunt.

I.11. Conclusion

De par son relief et sa situation géographique, l'Algérie doit faire face à un phénomène de l'ensablement et désertification qui touche une partie importante du territoire national.

Il convient donc d'adopter une stratégie générale de lutte contre l'ensablement qui se résume en ce qui suit :

- Elaboration d'un guide spécifique de conception de tracé ferroviaire en zone dunaire.
- L'élaboration des méthodes de suivi et d'évaluation des projets de protection des chemins de fer contre l'ensablement**.**

Chapitre II : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

II. RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

Le transport ferroviaire joue un rôle important pour la desserte des ports et des grands centres urbains de la bande côtière. Il a évolué en rapport avec les activités agricoles, minières et industrielles, la croissance et le déploiement des populations et en réponse également à des exigences de défense nationale.

Les lignes principales sont proches à la cote mais le réseau ferroviaire comporte aussi des ramifications, reliant des zones moins développées ainsi que des pénétrantes desservant les gisements miniers. Il existe également un trafic important de banlieue au niveau des principales villes du nord Alger, Annaba, Oran….

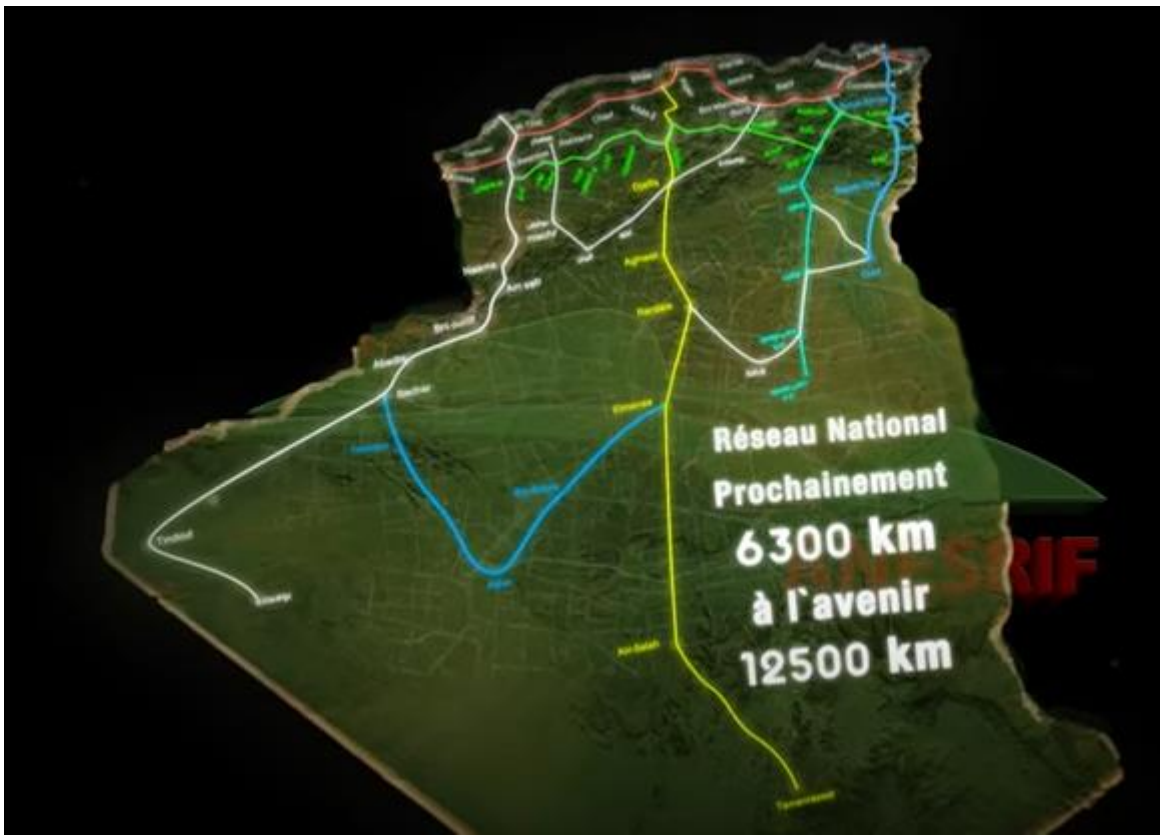


Figure II. 1: Future infrastructures ferroviaires en Algérie.

Les projets ferroviaires et autoroutiers revêtent « un caractère stratégique » et visent à faciliter l'acheminement des marchandises des ports algériens vers les pays africaines voisins et de la région, notamment le Mali, le Niger, la Mauritanie, le Tchad, le Nigéria etc.

II.1. TRANSPORT FERROVIAIRE

Le chemin de fer ou transport ferroviaire est un mode de transport guidé caractérisé par une infrastructure spécialisée composée de deux rails parallèles permettant la circulation des trains, tramways, tram, et métros. Utilisé pour le déplacement de personnes et de marchandises, il constitue, avec les modes routier, fluvial et aérien, l'un des principaux moyens de transport modernes.

Son usage se répand ensuite au monde entier tant pour le trafic de voyageurs que pour le commerce.

II.2. IMPORTANCE DU CHEMIN DE FER

Le transport ferroviaire possède un impact indéniable sur la croissance économique des régions. Il est le complément essentiel aux autres modes de transport, Le transport ferroviaire est :

- Peu polluant, plus sûr.
- Plus économique en termes d'énergie. Il s'intègre parfaitement dans l'environnement il joue un rôle indiscutable dans l'aménagement du territoire et le désenclavement des zones déshéritées.
- Le chemin de fer joue un rôle essentiel dans les domaines économiques et militaires et améliore considérablement les déplacements.

Dans la compétition des divers moyens de transport le chemin de fer garde des atouts nombreux et importants et notamment ceux relatifs à :

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

Il est également reconnu que pour le transport de masse et le transport des pondéreux, le chemin de fer est un moyen de transport économique et quasi idéal, un train céréalier complet équivaut à 55 semi-remorques. A Cela vient s'ajouter la préoccupation de l'environnement liée à :

- La congestion (routière, autoroutière).
- La pollution (émission de CO2 à effet de serre).
- Aux dommages corporels et matériels (coûts économique élevés des accidents de la route).
- En outre le transport des marchandises dangereuses avec toutes les conséquences qu'il implique par route et par voie aérienne trouve dans le rail un mode plus approprié.

II.3. STRUCTURE ACTUELLE DU RESEAU FERROVIAIRE DU PAYS

L'histoire des chemins de fer algériens commence en **1857** durant la colonisation française de l'Algérie avec la construction de 5 014 km de voies ferrées. Depuis l'indépendance, ce réseau a beaucoup évolué : déclassement de tronçons, construction de nouvelles lignes, doublement de voies, électrification de certains tronçons. Selon SNTF actuellement ce réseau est de plus de 4 498 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.

Le 10 septembre 2018, la mise en service du système de télécommunication ferroviaire GSM-R pour la première fois en Afrique, ce système de télécommunication vise à sécuriser les communications sur un réseau autonome entre le centre installé à Alger et les trains ainsi qu'entre les trains et les opérateurs chargés de l'entretien du réseau.

Le 13 octobre 2019, mise en service d'une nouvelle ligne reliant Alger à Touggourt

Le réseau des chemins de fer de l'Algérie couvre 30 wilayas. Il est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire.

Selon la SNTF ;

- La longueur totale du réseau actuel est de plus de 4498 km. A la réception des projets qui sont en cours de réalisation le linéaire sera de plus de 6300 km dont plus de 324 km électrifiés.

- Le réseau permet de transporter actuellement de 1269 millions de passagers/ kilomètres. Le trafic ferroviaire voyageurs en Algérie n'est actuellement pas au mieux de sa forme. Il était à la fin de l'année 1999 de 3192 millions de passagers/kilomètres.
- Le fret : La SNTF assure 5% du marché du transport terrestre des marchandises en Algérie.

Selon l'ANESRIF, le réseau ferroviaire algérien se divise en 6 parties selon positionnement géographique.

II.3.1. Rocade ferroviaire nord et ses dessertes : (Figure II.2)

L'un des objectifs primordiaux est l'aménagement de la rocade nord qui s'étend sur un linéaire de 1822 Km afin d'augmenter sa vitesse qui devrait atteindre 160 à 220 km/h. en plus sa dotation avec les derniers systèmes de signalisation et de communication qui sont aux normes internationales. Avec ;

- 216 gares et 09 grands ports raccordés et à raccorder.
- 22 wilayas desservies par cette ligne.



Figure II. 2: La Rocade ferroviaire nord et ses dessertes.

II.3.2. Rocade ferroviaire des hauts plateaux : (Figure II.3)

La rocade des hauts plateaux longue de 1162 km parallèle à celle du nord traverse la plupart des willayas de cette région, dont le premier tronçon qui va de Tbessa à M'sila est en exploitation.

- De 1162 km de linéaire (532 km en exploitation et 628 km à 160km de vitesse en cours de réalisation).
- 10 wilayas desservies.



Figure II. 3: rocade ferroviaire des hauts plateaux.

II.3.3. Boucle Sud – Ouest : (Figure II.4)

La boucle sud-ouest en cours d'étude à partir de Ghardaïa jusqu'à Béchar en passant par EL Ménéa, Timimoun Adrar Bni Abbas Abadla sur un linéaire de 1500 km.



Figure II. 4: boucle sud-ouest.

II.3.4. Boucle de Sud Est : (Figure II.5)

A l'est la ligne Constantine Hassi Messaoud s'étend sur un linéaire de 574 km reliant les wilayas du sud et de l'est, Les travaux de modernisation de cette ligne jusqu'à Touggourt sont achevés ainsi que sa dotation avec des systèmes modernes de signalisation et de télécommunication il est prévu , aussi le prolongement de la ligne Constantine Touggourt jusqu'à Hassi Messaoud sur un linéaire de 150 km, par des trains voyageurs atteignant une vitesse de 220 km/h.



Figure II. 5: la Boucle sud- Est.

II.3.5. Pénétrante Ouest : (Figure II.6)

Du côté ouest la ligne Oran Béchar sur un linéaire de 700 km est entrée en service depuis la fin de 2010 avec des normes moderne et internationales, avec une vitesse des trains voyageurs atteignant les 160km/h, cette ligne sera étendue dans le futur vers le sud jusqu'à Tindouf.



Figure II. 6: Pénétrante ouest.

II.3.6. Pénétrante centre : (Figure II.7)

La liaison des villes Laghouat- Djelfa et Ksar el Boukhari sur un linéaire 290km sont en cours de réalisation. Des études ont été lancées pour les tronçons reliant Laghouat à Hassi Messaoud en passant par Ouargla, Idem pour les liaisons du blida a et ksar el Boukhari de Ain Salah à Tamanrasset, avec une vitesse rapide de 220 km/h.



Figure II. 7: pénétrante centre.

Pour le grand Sud les lignes ferroviaires vont sillonner les grandes étendues désertiques par des réalisations et des projets en cours d'étude afin de désenclaver les villes et les rapprocher de la dynamique commerciale.

II.4. Signalisation et contrôle de vitesse

La signalisation ferroviaire algérienne utilise plusieurs systèmes de signalisation. Elle se fait par des signaux lumineux implantés sur le bord de la voie qui dépendent du cantonnement (block manuel, block automatique lumineux, BAPR). La vitesse est contrôlée par le système KVB.

A l'avenir, les grandes lignes et certains axes importants de fret se verront dotées de la signalisation ETCS.

Chapitre III : PRESENTATION du PROJET

III. PRESENTATION DU PROJET

III.1. INTRODUCTION

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire algérien, l'Agence Nationale d'Etude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires « ANESRIF » a consacré un programme, qui permet de **développement économique** et de **désenclavement des villes du Sud**. Ils ont programmé les réseaux de La Boucle Sud.et plus précisément la « **boucle Sud Est »** Cette boucle d'un linéaire global de 540 km est composée de quatre lignes principales desservant les wilayas de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla Touggourt et El-Oued, avec une vitesse de 220 km/h pour les trains de voyageurs et de 80 km/h pour ceux de transport de marchandises.

III.2. DESCRIPTION DU PROJET

Le projet consiste en la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Touggourt- Hassi Messaoud qui entre dans le cadre de la boucle ferroviaire Sud-est pour le développement de l'axe de la rocade Sud.

Le projet de la nouvelle ligne **Touggourt- Hassi Messaoud** est une liaison stratégique sur le plan économique et social, ce projet sert à un transport rapide et confortable pour les voyageurs et les frets. La nouvelle ligne permettra le développement du grand pôle pétrolier de Hassi Messaoud et de la nouvelle ville qui y sera implantée.

La nouvelle ligne est la continuité de la ligne existante **Biskra- Touggourt.** (Figure III.1)

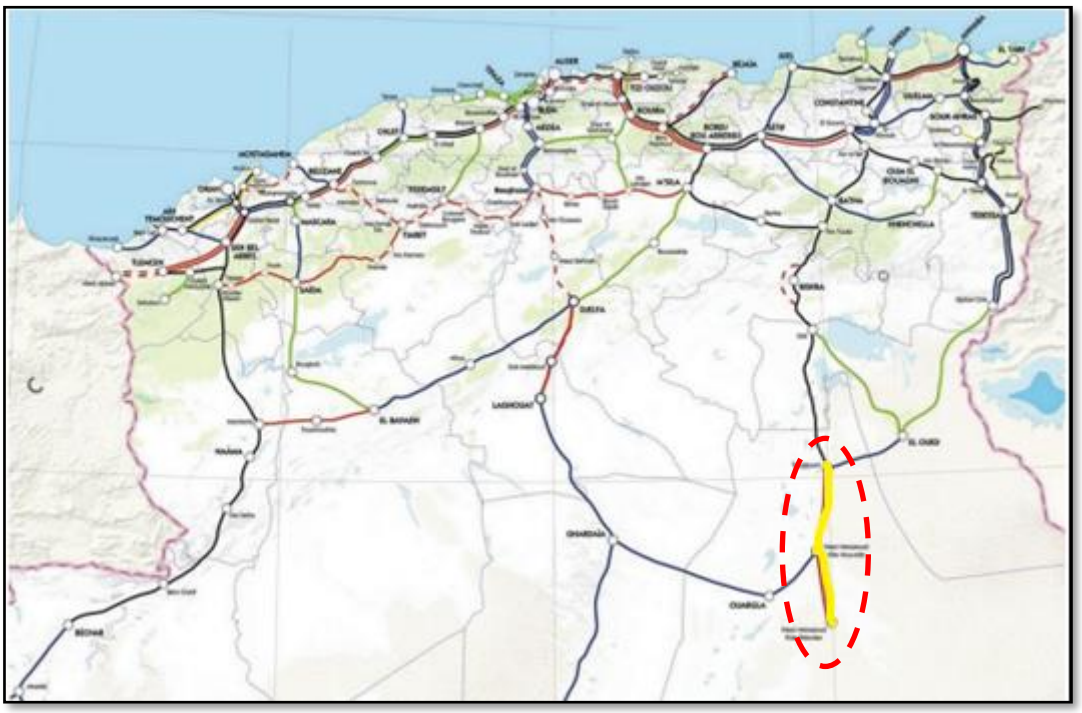


Figure III. 1: réseau ferroviaire en Algérie.

Cette nouvelle ligne électrifiée est destinée au transport mixte (trafic mixte ; voyageurs - marchandises) avec un linéaire de **150 km**. La nouvelle ligne assurera le prolongement vers le sud de la pénétrante **Skikda-Constantine, Biskra-Touggourt**.

A partir de Hassi-Messaoud, la ligne sera ultérieurement connectée à la boucle du sud qui raccordera les villes de **Ouargla- Ghardaïa, Laghouat et Djelfa.** (Figure III.2)
Cette ligne sera établie avec les normes techniques permettant de **vitesses voyageurs de 220 km/h** et vitesse **marchandises de 80 km/h**.
Les travaux de réalisation ont connu un retard en raison de plusieurs contraintes liées entre autres à la déviation du tracé afin d'éviter certains gazoducs, équipements publics, des réseau électriques à haute tension.
Les caractéristiques géométriques et techniques sont basées sur des normes et des règles ferroviaires nationales, les normes de **SNTF** et les recommandations du **UIC.**

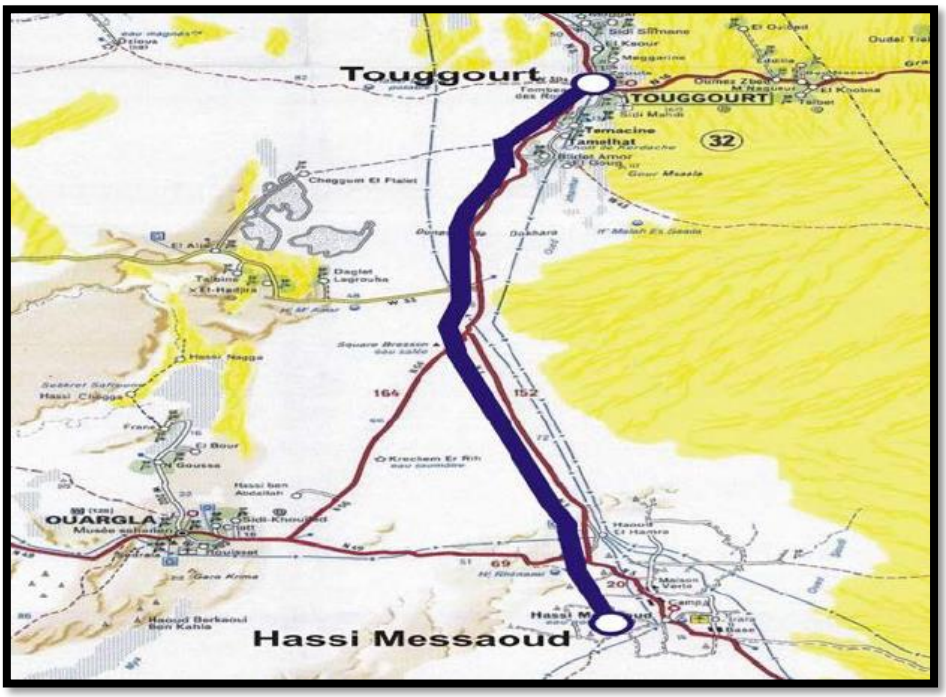


Figure III. 2: la nouvelle ligne Touggourt - Hassi Messaoud.

III.2.1. Installations fixes de la nouvelle ligne

Les installations qui seront ouvertes à l'exploitation de la ligne sont :

- Nouvelle gare intermodale de Touggourt (PK 7+400).
- Gare marchandise de Touggourt située en lieu et place de la gare voyageurs actuelle.
- Gare Hassi Messaoud nouvelle ville (PK 96+280).
- Halte Sud Hassi Messaoud Nouvelle Ville (PK 103+430).
- Gare marchandises Hassi Messaoud Nouvelle Ville.
- Centre de maintenance du matériel roulant à Hassi Messaoud Nouvelle Ville.
- Gare Hassi Messaoud Pole Pétrolier (PK 140+600).
- 04 gares de croisements entre Touggourt et Hassi Messaoud Nouvelle Ville, (PK 26 et PK 42+220, PK 63+500 et PK 78+400).
- Une gare d'évitement entre Hassi Messaoud Nouvelle Ville et Hassi Messaoud Pole Pétrolier (PK 121).

III.3. LES OBJECTIFS DU PROJET

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

L'objet de l'étude de fin d'étude consiste à réaliser l'étude avant-projet détaillé « APD » d'une section de la nouvelle ligne électrifiée de PK 0+000 au PK 12+000, avec la boucle le raccordement entre l'ancienne gare de Touggourt et la nouvelle gare voyageurs avec la conception de la nouvelle gare voyageurs Touggourt. (Figure III.3)

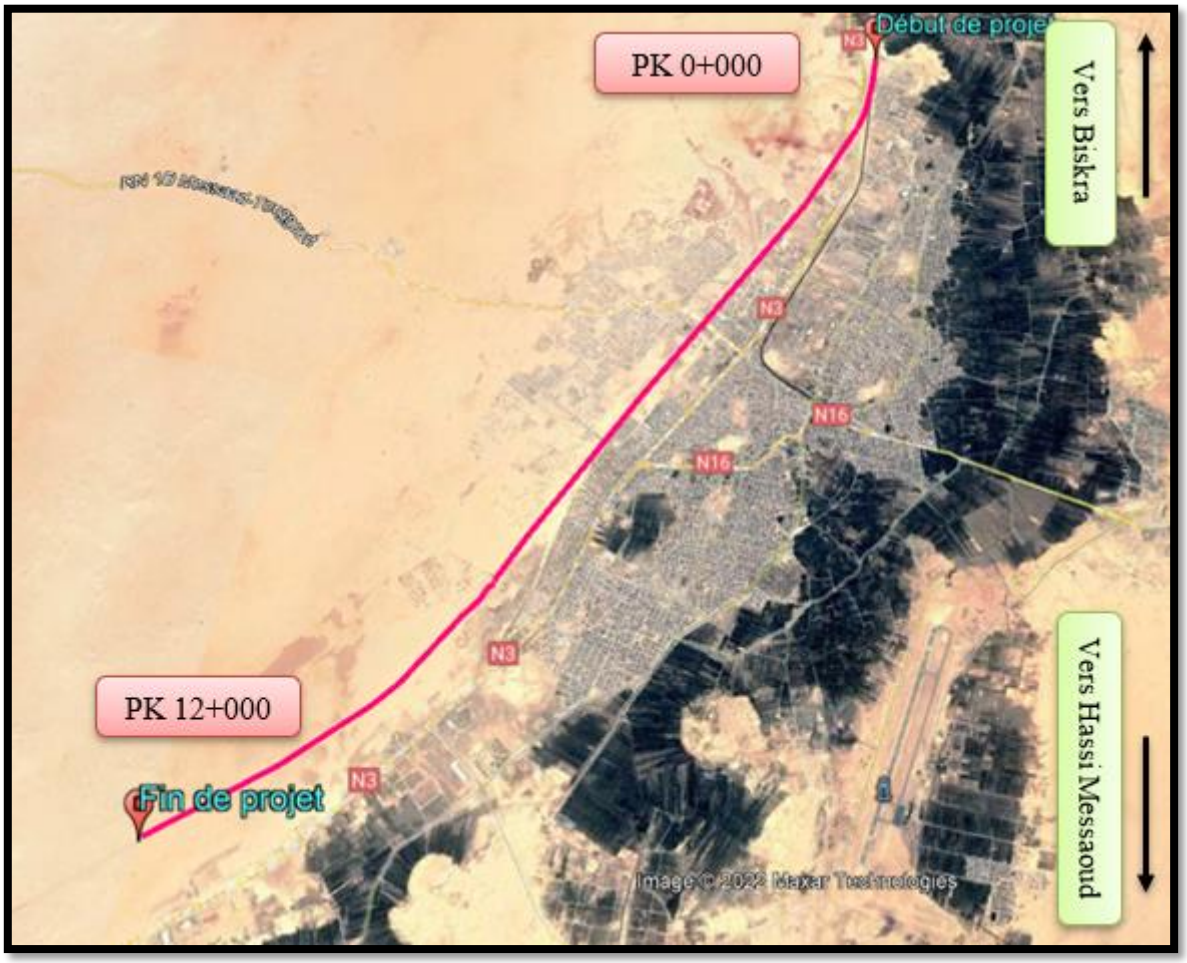


Figure III. 3: carte satellitaire de tronçon objet d'étude (par google Earth).

III.4. CARACTERISTIQUES DE LA LIGNE

La nouvelle ligne est conçue comme suit :

- Caractéristiques géométriques selon SNTF et les standards UIC.
- Longueur du tracé 12 km, Avec la boucle de raccordement.
- Trafic mixte voyageurs et marchandises.
- Ligne à voie unique posée sur une plateforme de 8m allant Touggourt vers Hassi Messaoud ville.
- Mode de traction prévue : Diesel, avec prévision d'une électrification future.
- Une vitesse maximale de 220km/h.
- Vitesse d'exploitation des trains voyageurs : 160 km/h.
- Une vitesse lente de 80km/h.
- Le rail utilisé sera du type 60 E10.
- Les traverses du type monobloc en béton précontraint, et bi-bloc en béton armé.
- Ecartement : La voie sera construite avec un écartement normal e=1435mm.
- Gabarit : Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse c'est à dire le gabarit GC de l'UIC.
- Charge à l'essieu : pleine voie : 20 tonnes, et 25 tonnes dans les Ouvrages d'arts.
- La nouvelle gare voyageurs à Touggourt.

La gare, et les quais sont dimensionnés pour des longueurs de trains voyageurs de 350 m.

III.5. LOCALISATION DE PROJET

Le tronçon objet de cette étude se trouve dans le Sud- Est du pays, exactement dans la wilaya de Touggourt.

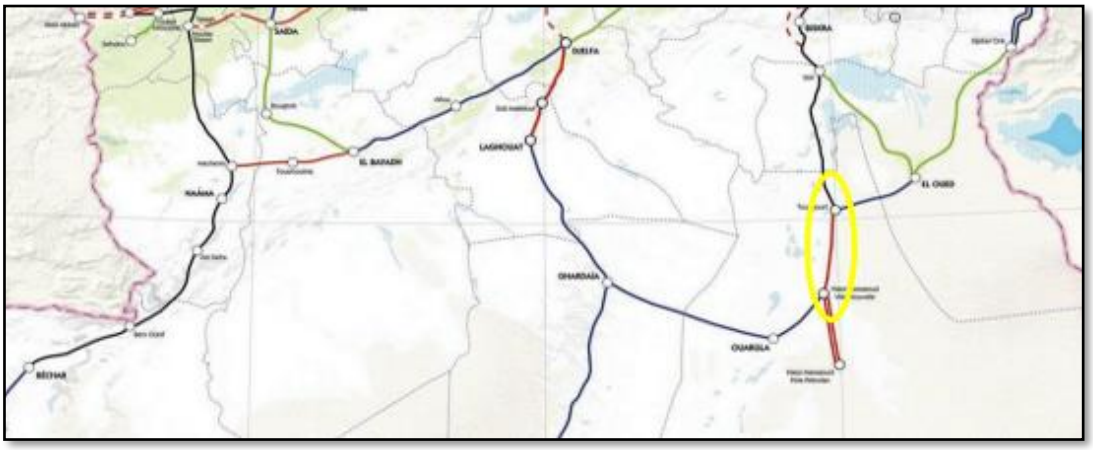


Figure III. 4 : Localisation géographique de projet.

III.6. Présentation de la wilaya de Touggourt

La wilaya de Touggourt Est délimitée par ;

- Au Nord par la wilaya de Mghier.
- Au Sud par la wilaya de Ouargla.
- A l'Est par la wilaya de l'Oued.
- A l'Ouest par wilaya de Djelfa.



Figure III. 5: Géolocalisation de la wilaya Touggourt sur la carte d'Algérie.

Tableau III. 1 : Information sur la wilaya Touggourt.

Superficie	**17 428 km^2**
Altitude	**65m**
Population	**247 221 (hab)**

III.7. Contexte géomorphologique de la région

À l'échelle régionale, le projet de la liaison ferroviaire Touggourt - Hassi Messaoud se situe dans la partie nord-orientale de la plateforme saharienne, Sud des chaînes montagneuses des hauts plateaux. Il constitue une grande extension de terrain formé de champs de dunes (erg) et zones d'affleurements rocheux érodés par l'action du vent (déflation) et les changements brusques de températures (gélifraction), appelés regs cela au point de vue morphologique. (Figure III.6)

Du point de vue structurale la plateforme saharienne, zone relativement stable où l'activité tectonique est très basse, correspond au craton Nord-africain formé de matériaux précambriens qui constituent la base ayant généré de nombreux bassins qui avant étaient couverts par des dépôts tertiaires et quaternaires. C'est dans cette zone où se déroule le projet actuel.

D'où, La zone d'étude elle se trouve dans une région très peu accidentée, tectoniquement stable.

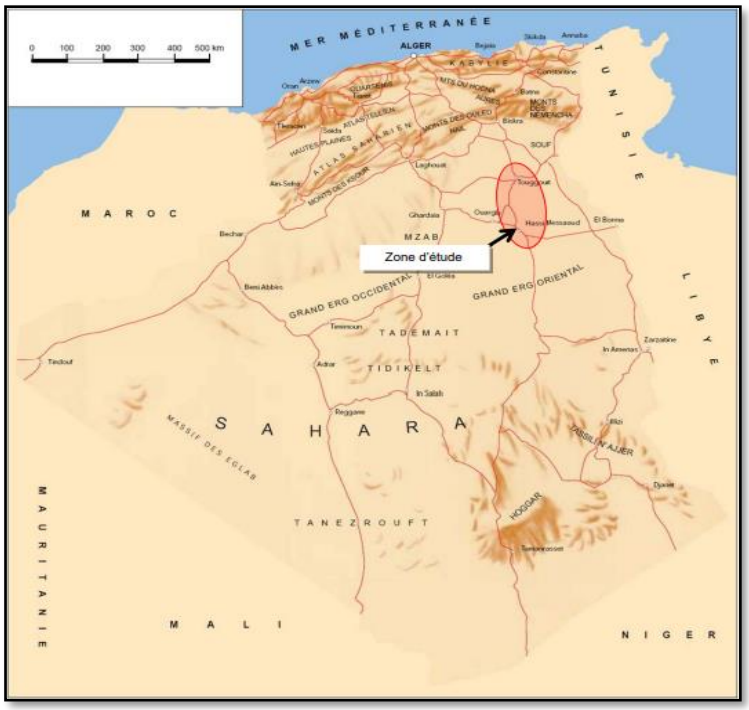


Figure III. 6: morphologie régionale dans laquelle se trouve la zone de l'étude.

III.8. Caractéristiques climatiques

Le climat à Touggourt est désertique et très sec. La région est caractérisée par un climat très chaud en été (souvent plus de 40°) et très froid en hiver (Figure III.7). Juin, juillet et août sont les mois les plus chauds,

En hiver, il gèle presque partout, il existe donc de grands écarts de température entre l'hiver et l'été. L'amplitude des variations thermiques annuelles, est l'une des particularités au Sahara.

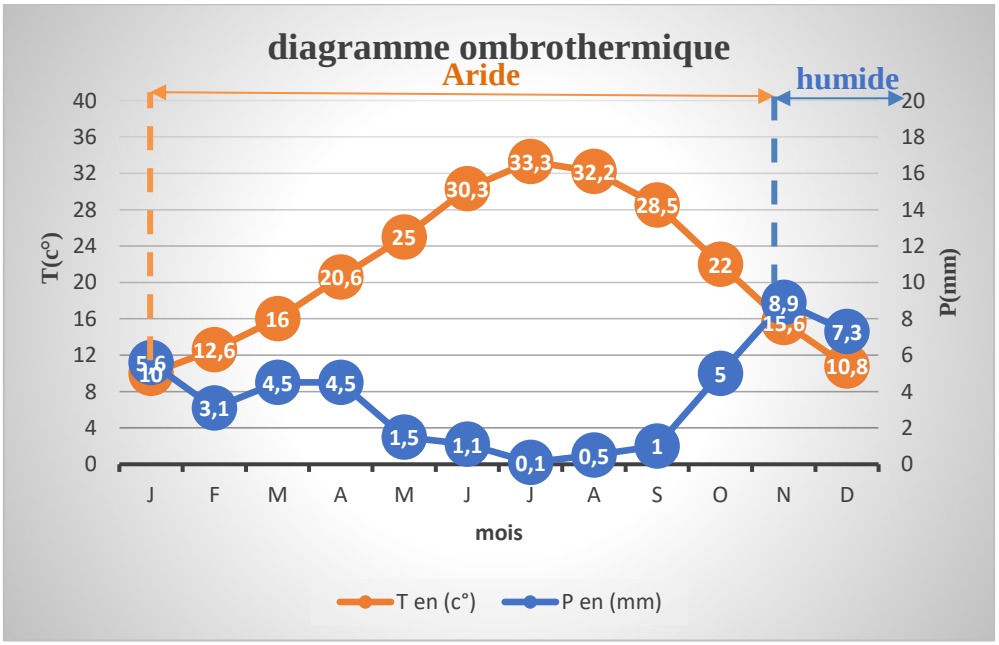


Figure III. 7: diagramme ombrothermique.

- Les précipitations sont très abondantes, faibles, la moyenne des précipitations annuelles ne dépasse pas 100 mm.
- La température moyenne annuelles est de 21.4°.
- Les mois les plus chauds correspondent à juin, juillet et août « la température moyenne est supérieure à 30°C, été chaud ». Les mois les plus froids sont enregistrés de décembre à février.
- Le gradient de température moyenne du mois le plus froid au mois le plus chaud varie de 10°C à 33.3°C pour la région.

Le vent est l'autre caractéristique permanente du Sahara. Par sa situation, la région est soumise, à des vents dominants et les vents de sable sont fréquents et violents. (Figure III.8).

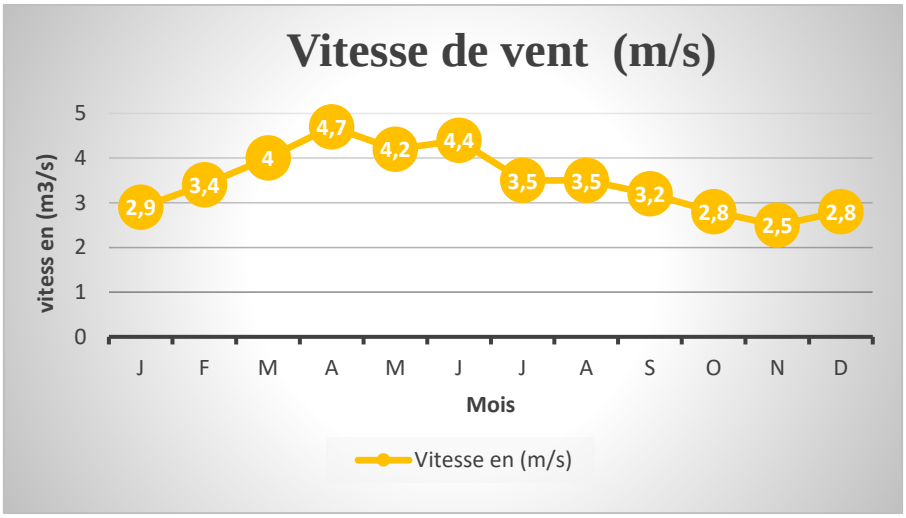


Figure III. 8: vitesse de vent.

Les vitesses du vent sont relativement fortes elles varient de 2.5 à 4.7 m/s, le mois d'avril enregistre en moyenne les vents les plus forts**.**

III.9. Economie

Touggourt est un centre de commerce et de tourisme important. Elle abrite une antenne de la Sonatrach. Même si il n'y pas d'hydrocarbures dans l'Oued Righ, sa proximité avec les gisements de Hassi Messaoud, le fait bénéficier indirectement des retombées. De nombreuses activités de sous-traitance, des sièges sociaux, des zones d'entrepôt sont installées à Touggourt. Elle profite également de sa position de terminal ferroviaire important.
Touggourt a développé un secteur privé dynamique : grossistes, entreprises de services, unités industrielles (minoterie, verrerie, agro-industriel). Elle a également le marché de la datte le plus important de la région.
Elle est connue pour la qualité de ses dattes. Les palmeraies qui entourent Touggourt sont très étendues. Elles abritent des dattiers, à l'ombre desquels sont cultivés quelques céréales et légumes. Des usines de conditionnement de dattes traitent sur place la production.
La nouvelle wilaya Touggourt compte plusieurs richesses naturelles qui favorisent le lancement de projets à caractère industriel. Cette région recèle d'importants gisements de matières

premières on citera notamment, l'argile, le sable et le gypse, la chaux, le tuf. Des matières propices à la fabrication de matériaux de construction (particulièrement les produits rouges (briques, ourdis et autres)).

La wilaya a également enregistré plusieurs investissements dans d'autres secteurs tels que les le secteur du commerce.

Son marché hebdomadaire rayonne sur la région et est animé par des gros commerçants qui sillonnent le Sahara. En outre, la broderie traditionnelle est parmi les principales activités artisanales.



Figure III. 9: fabrication de brique.



Figure III. 10 : Palmeraies à Touggourt.

III.10. Infrastructure de base de la wilaya de Touggourt

La wilaya de Touggourt dispose d'atouts importants dans les domaines des infrastructures économiques et des équipements-logistiques la mettant en position idéale pour un véritable essor économique.

- **Infrastructures routières**

Il s'agit d'un réseau routier composé de

- 239 km de routes nationales (RN03 et RN16).
- 55,5 km de chemins de wilaya.
- Et 212 km de chemins communaux.

- **Infrastructure ferroviaire**

- La ligne ferroviaire existante Biskra – Touggourt avec une gare ferroviaire (voyageurs /marchandise).

- **Infrastructure aéroportuaire**

- Un aéroport national de 532 hectares, avec une piste (3.000 x 45 mètres). À côté du village et de la station agricole expérimentale de Sidi-Mahdi.



Figure III. 11: infrastructure dans wilaya Touggourt.

Chapitre IV :
TRACE en PLAN

IV. TRACE EN PLAN

L'étude géométrique d'un tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de chercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement. Afin d'obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé dont les caractéristiques géométriques sont homogènes. Les fréquents changements du tracé (alignement, courbe de raccordement, courbe circulaire), ainsi que les éléments géométriques de courte longueur ont une influence négative sur la marche des véhicules et le confort des usagers tout en compliquant l'entretien de la voie.

IV.1. TRACE EN PLAN

Le tracé en plan est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Il est constitué d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

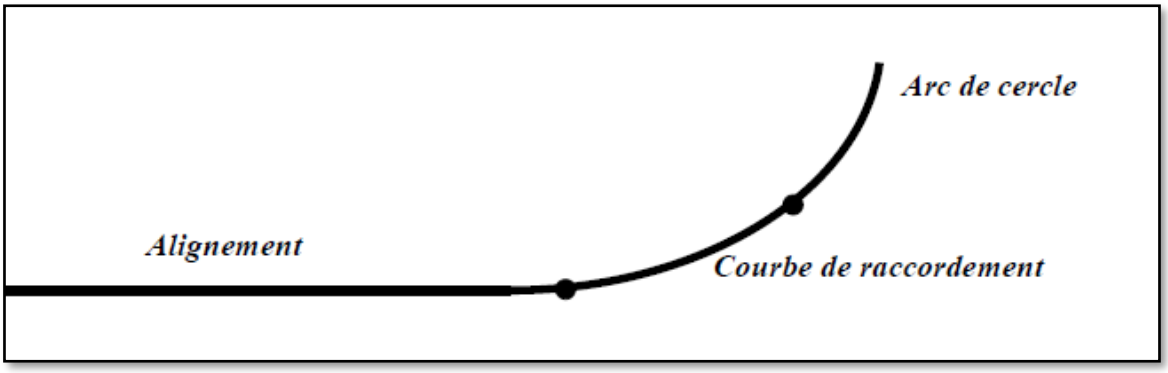


Figure IV. 1: Les éléments de tracé en plan.

Dans les voies mixtes, le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :
V_{max} : vitesse des trains de voyageur (vitesse rapide).
V_{min} : vitesse des trains de marchandise (vitesse lent).
Dans cette étude V_{max} = 220km/h et V_{min}= 80 km/h.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de sécurité.

IV.2. Rappel des conditions et les règles à respecter dans le tracé en plan

Dans ce qui suit, sont rappelées certaines exigences qui sont importantes pour faire un bon tracé, et aussi un tracé économique et technique.

- Comme il s'agit à une étude avant-projet détaille on ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Respecter les territoires traversés en adaptant le tracé au relief (topographie) existant.
- Éviter le maximum le franchissement des oueds et des routes dans la mesure possible afin d'éviter la réalisation d'ouvrages d'art, dans le cas où le franchissement est inévitable il s'effectuera plus ou moins perpendiculairement à l'obstacle ou bien dans les endroits les plus étroits, cela pour des raisons économiques.

- Éviter le passage sur terrains agricoles, zones forestières, et les propriétés privées.
- Adapter le tracé en plan au terrain naturel ; suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements droits et respecter la longueur minimale quand la topographie de la zone le permet. Lorsque on est obligé de faire des courbes vu les caractéristiques propres aux voie ferrée, les courbes doivent être établies avec le rayon de courbure le plus grand possible. (Pour le confort, bon parcours des véhicules).
- Eviter le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.

IV.3. PARAMÉTRES DE CONCEPTION DU TRACÉ

IV.3.1. Longueur minimum des éléments du tracé

Afin d'amortir suffisamment le roulis de la caisse des véhicules, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments de tracé. Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, les doucines, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après ; (avec la vitesse V est exprimée en km/h) : (Tableau IV.1)

Tableau IV. 1: Valeurs minimales des éléments de tracé selon SNTF.

Valeur Normale (m)	Valeur Exceptionnelle (m)
V/2 = $\frac{220}{2}$ = **110**	**V/3 =** $\frac{220}{3}$ **= 73.333**

La longueur minimale dans ce tracé dans le cas normal est de $\mathbf{L_{min} = 110\ m.}$

IV.3.2. Longueur minimum de raccordement progressif

La longueur d'un raccordement progressif est définie par les paramètres suivants :

- Dévers pratique.
- Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.
- Taux de variation de dévers en fonction du temps.
- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

La longueur d'un raccordement progressif est calculée par les différentes formules suivantes :

$$L_{min} \geq \frac{dp \times Vmax}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

$$L_{min} \geq \frac{I \times Vmax}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

$$L_{min} \geq \frac{dp}{\frac{\Delta d}{\Delta I}}$$

IV.3.3. **Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin)**

La valeur du rayon minimum admissible dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, le rayon minimum, sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

$$\mathbf{R_{min}} \geq \frac{\mathbf{11.8} \times V_{max}^2}{dmax + Imax}$$

R_{min} : Rayon minimum de courbe(m).
V_{max} : vitesse des trains rapide (km/h).
d_{max} : Dévers maximal (mm).
I_{max} : insuffisance de dévers maximum (mm).

IV.4. Le Dévers

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. En courbe, les deux files de rail sont posées en devers lorsque la file de grand rayon est surélevée par rapport à la file de petit rayon est surhaussée par rapport à l'autre. Ce surhaussement permet de compenser une partie de la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire.

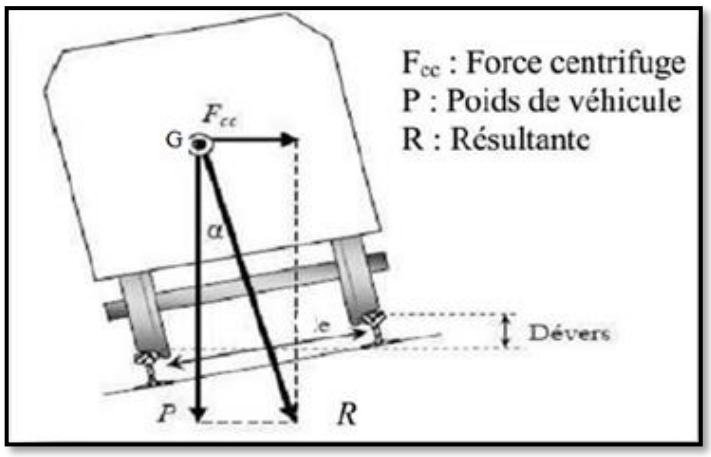


Figure IV. 2: Schéma du dévers.

Avec $F_c = \frac{mV^2}{R}$ et P= mg e : écartement entre deux files de rail=1500 mm.

IV.4.1. Dévers Théorique (d_{th})

Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train. Il est également appelé « dévers d'équilibre » noté « $\mathbf{d_{th}}$ » et donné par la formule suivante:

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

Avec d_{th} : dévers théorique en (mm), V : vitesse en (km/h), R : rayon en (m).

IV.4.2. Dévers Pratique (d_p)

Pour un trafic mixte les trains roulent à des vitesses différentes (vitesse voyageurs, marchandises). Il est donc impossible de rouler avec dévers théorique. Cela nous conduit à la notion du « dévers pratique » ou bien « dévers réel » noté « **d_p** », ce dévers doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que les trains lents de fret. Le dévers pratique est calculé par la formule suivante ;

$$\mathbf{d_p}= \frac{1000\times C}{R} \qquad \text{En (mm)}$$

Avec :
R : rayon de courbure en (m).
C : coefficient de dévers ; C= 0.006 V^2 , doit être multiple de 15. Avec V : en (km/h).
Le coefficient C représente la proportionnalité entre le dévers pratique et la courbure.
Selon la SNTF pour les projets avec des vitesses inférieures ou égales à 220km/h ; le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe, donc est limité à **d_{max}=160mm.**

Aussi le dévers pratique doit être **$0.5d_{th} \leq dp \leq 0.7d_{th}$**

La mise en œuvre du dévers pratique permet de :

- Eviter la fatigue excessive de la voie : un devers trop faible pour les circulations rapides conduit à la fatigue de rail extérieur de la courbe. Un devers excessif pour les circulations lentes conduit à la fatigue de rail intérieur.
- Assurer la sécurité : en évitant la sortie des trains de la voie à cause d'un devers insuffisant pour les vitesses élevées.
- Assurer un confort satisfaisant aux voyageurs.

IV.4.3. Les paramètres du tracé :

D'après la SNTF chapitre 06 et Selon la SNCF (page 15 de IN 0272 Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h) :

Tableau IV. 2: Les paramètres du tracé.

Paramètre	Valeurs limite normale	Valeur limite exceptionnelle
$\frac{\Delta d}{\Delta L}$ (mm/m)	180/V	216/V
$\frac{\Delta d}{\Delta t}=\frac{d\times Vmax}{3.6\times L}$ (mm/s)	50	60
I= d_{th}-d_p (mm)	150	160
$\frac{\Delta I}{\Delta t}=\frac{I\times Vmax}{3.6\times L}$ (mm/s)	75	90
E= d_p-d_{th}	110	130

IV.5. APPLICATION AU PROJET

D'après les recommandations de la SNTF on retient les données suivantes :

Tableau IV. 3 : Les valeurs limite géométrique de tracé.

Vitesse des trains voyageurs	$\mathbf{V_{max} = 220km/h}$
Vitesse des trains marchandises	$\mathbf{V_{min} = 80km/h}$
Excès de dévers (valeur limite normale)	$\mathbf{E_{max} = 110\ mm}$
Insuffisance de dévers (valeur maximale normale)	$\mathbf{I_{max} = 150mm}$
Dévers max	$\mathbf{d_{max} = 160\ mm}$
Variation de dévers en fonction du temps (valeur limite normale)	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \mathbf{50\ mm/s}$
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps (valeur limite normale)	$\frac{dI}{dt} = \mathbf{75\ mm/s}$
Variation de dévers en fonction de la longueur (Paramètre de gauchissement)	$\frac{dd}{dl} = \frac{180}{V} = \frac{180}{220} = \mathbf{0.82}$

- **Calcul du rayon minimal :**

Calcul de rayon minimale avec la formule qui dépend de l'insuffisance de dévers ;

$$\mathbf{R_{min} \geq \frac{11.8 \times V_{max}^2}{dmax + Imax}} \quad \mathbf{d'où} \quad \mathbf{R_{min} \geq \frac{11.8 \times 220^2}{160+150} = 1842.32m}$$

$$\mathbf{D'où \qquad R_{min} = 2000\ m.}$$

- **Calcul le dévers pratique associé au rayon minimum ; Rmin = 2000m.**

$$\mathbf{d_p = \frac{1000 \times C}{Rmin}}$$

Avec C : le coefficient de dévers $\mathbf{C = 0.006 \times Vmax^2}$;C = $0.006 \times 220^2 = 290.4$

C doit être multiple de 15 ; donc soit **C = 300.**

D'où $\mathbf{d_p = \frac{1000 \times 300}{2000} = 150mm}$ < d_{max} = 160mm. ⟶ **Vérifié.**

- **Calcul du dévers théorique des trains rapides** (avec V_{max} = 220km/h) :

$$\mathbf{d_{th(r)} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{Rmin} = \frac{11.8 \times 220^2}{2000} = 285.56mm.}$$

$\mathbf{d_{th(r)}}$ = 285.56 ≈ **286 mm.**

- **Calcul du dévers théorique des trains lentes** (avec V_{min} = 80 km/h) :

$$\mathbf{d_{th(l)} = \frac{11.8 \times V_{min}^2}{Rmin} = \frac{11.8 \times 80^2}{2000} = 37.76\ mm.}$$

$\mathbf{d_{th(l)}}$ = 37.76 ≈ **38 mm.**

- **Calcul de l'excès de dévers E** :

$E = d_p - d_{th(l)}$ = 150-38 = **112mm > E_{max} = 110 mm.** ⟶ **Pas vérifié.**
Donc on doit augmenter le rayon minimal, soit R_{min} = 2500m.

➢ **Refaire le calcul pour R = 2500m.**

- **Calcul le dévers pratique associé au rayon minimum ; Rmin = 2500m.**

$$d_p = \frac{1000 \times C}{Rmin} = \frac{1000 \times 300}{2500} = 120mm < d_{max} = 160mm.$$ ⟶ **Vérifié.**

- **Calcul du dévers théorique des trains rapides** :

$$d_{th(r)} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{Rmin} = \frac{11.8 \times 220^2}{2500} = 228.45mm.$$

$$d_{th(r)} = 228.45 \approx 229\ mm.$$

- **Calcul du dévers théorique des trains lentes** :

$$d_{th(l)} = \frac{11.8 \times V_{min}^2}{Rmin} = \frac{11.8 \times 80^2}{2500} = 30.208\ mm.$$

$$d_{th(l)} = 30.208 \approx 30.5\ mm.$$

- **Calcul de l'excès de dévers E** :

$E = d_p - d_{th(l)}$ = 120-30.5 = **89.5 mm < E_{max} = 110 mm** ⟶ **Vérifié.**

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

$I = d_{th(r)} - d_p$ = 229- 120 = **109mm < I_{max} = 150 mm** ⟶ **Vérifié.**

- **Calcul la longueur minimale et le paramètre de raccordement progressif :**

$$L_{min} = \frac{dp}{\frac{\Delta d}{\Delta l}}$$

Avec la variation de dévers en fonction de la longueur : $\frac{\Delta d}{\Delta l} = R_p = \frac{180}{Vmax} = \frac{180}{220} = 0.82\ mm/m.$

$$L_{min} = \frac{dp}{Rp} = \frac{120}{0.82} = 146.34\ m.$$

$$L_{min} = 146.34 \approx 150\ m.$$

D'où on opte pour une longueur minimale de, L_{min} = 150 m.

- **Paramètre de la clothoïde A :**

$$A = \sqrt{R \times L\ adopté} = \sqrt{2500 \times 150} = 612.37m.$$

$$A = 612.37m.$$

- **Variation de dévers :**
- En fonction du temps :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times Vmax}{3.6 \times Ladopté} = \frac{120 \times 220}{3.6 \times 150} = 48.88\ mm/s < 50\ mm/s.$$

- En fonction de la longueur :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{dp}{Ladopté} = \frac{120}{150} = 0.8 < 0.82\ mm/m.$$ Soit $\frac{\Delta d}{\Delta l} = 0.8\ mm/m.$

- **Variation de l'insuffisance de dévers :**

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times Vmax}{3.6 \times Ladopté} = \frac{109 \times 220}{3.6 \times 150} = 44.41 \text{mm/s.} < 75 \text{ mm/s.}$$ D'où $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 44.4\ mm/s$

les mêmes calculs sont faits pour les autres rayons, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 4: Récapitulatif des Paramètres du tracé.

Rayon (m)	C	$d_{th(r)}$ (mm)	$d_{th(l)}$ (mm)	d_p (mm)	$d_{p\ adopté}$ (mm)	I (mm)	E (mm)	L_{calcul} (m)	$L_{adopté}$ (m)
2900	300	196.93	26.04	103.44	105	91.93	78.95	128.05	130
20000	300	28.55	3.776	15	0	13.55	11.22	18.29	-
5000	300	114.22	15.10	60	60	54.22	44.89	73.17	110

Rayon (m)	$\frac{\Delta d}{\Delta t}$ (mm/s)	$\frac{\Delta d}{\Delta l}$ (mm/m)	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ (mm/s)
2900	49.36	0.81	43.22
20000	30.55	0.5	27.61
5000	33.33	0.55	30.12

- **Pour le raccordement progressif :**

- Si $\Delta C > \frac{2000}{V_{max}^2} = \frac{2000}{220^2} = 0.041$: les courbes de raccordement sont recommandées.
- Si $\Delta C > \frac{9000}{V_{max}^2}$; pour $V_{max} \leq 100$ km/h.
  $\Delta C > \frac{7000}{V_{max}^2} = 0.1446$; pour $V_{max} > 100$ km/h.
  } Les courbes de raccordement Sont obligatoires.

Avec la valeur de ΔC pour un Alignement / courbe est calculée comme suit :

$$\Delta C = \frac{1000}{R} \quad \text{R en (m).}$$

Et $V_{max} = \sqrt{\frac{4000}{\Delta C}}$ (km/h).

Pour le projet : V_{max} = 220 km/h > 100 km/h

- On a R_1= 2900 m ➔ ΔC = 0.34 > 0.144
- Et R_3= 5000m ➔ ΔC = 0.2 > 0.144

} d'où les courbes de raccordement sont obligatoires.

Pour un rayon de R = 20000 m ;

- $\Delta C = \frac{1000}{20000} = 0.05 < 0.144$ ➔ donc les courbes de raccordement progressif ne sont pas obligatoires.
- $\Delta C = 0.05 > \frac{2000}{220^2} = 0.041$ ➔ les clothoïdes sont recommandées mais pas obligatoire.
- Calcul la vitesse admissible :
- $V_{max} = \sqrt{\frac{4000}{\Delta C}} = \sqrt{\frac{4000}{0.05}} = 283$ km/h.

D'où pour un rayon de R =20000 m et une vitesse Vmax = 220 km/h inférieur à 283 km/h. on a opté pour un raccordement avec rayon de cercle sans clothoïde.

IV.5.1. La boucle de Raccordement

Le raccordement entre gare marchandise (l'ancienne gare de Touggourt) et la nouvelle gare voyageurs se fait par une boucle avec une vitesse réduite à 80 km/h.

- Calcul rayon minium :

$$\mathbf{R_{min} \geq \frac{11.8 \times V_{max}^2}{dmax + Emax}} \quad \textbf{d'où} \quad \mathbf{R_{min} \geq \frac{11.8 \times 80^2}{160+110}} \quad \mathbf{= 280\ m}$$

D'où soit $\mathbf{R_{min} = 280\ m.}$

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 5: Récapitulatif des Paramètres du tracé de la boucle.

Rayon (m)	d (mm)	d adopté (mm)	L adopté (m)
285	265	265	100

IV.6. LE TRACE RETENU

La ligne nouvelle Touggourt Hassi Messaoud sera la voie principale, avec une boucle de raccordement prévue pour raccorder entre la gare voyageurs et des frets.

Le tracé retenu est élaboré de sorte à respecter les normes et les recommandations des SNTF et le référentiel de conception des voies ≤ 220 km/h de SNCF, afin de faire un tracé qui permet une circulation mixte (trains rapides et lents) en toute sécurité et confort. En outre d'éviter l'ensemble des contraintes telles que ; les constructions, les conduites d'assainissement, les poteaux électriques surtout celles du Pk 7+439 qui sont situées dans l'emprise de la voie.

Le tracé commence par une déviation sur la ligne existante Biskra -Touggourt avec un appareil de voie 1/18.5 (R = 1200 m), il croise la RN3 en (A) au Pk 0+800, ensuite le tracé continue vers le sud et croise trois routes principales en zone urbaine de la ville de Touggourt (B) et (C) et (D) au Pk 4+725, Pk 6+830 et Pk 9+055. Cela donnant la naissance à des ouvrages au Pk respectifs. Il comporte deux arcs de cercle avec leurs raccordements progressifs et un courbe circulaire.

Pour la boucle de raccordement qui prend son départ (Pk 0) par une déviation sur la ligne existant vers l'ancienne gare par une appareille de voie type UIC 54 300 1/9, La boucle est constituée principalement par un arc de rayon 284.5 m et va continuer en parallèle avec la voie principale jusqu'au au cul de sac avec un linéaire de 4 km.

Dans cette zone principale pour emprunter le corridor prévu au PDAU. Il rejoint alors la gare voyageur (inscrite dans une gare intermodale) au PK 6+475, le bâtiment voyageurs étant implanté à l'est de la ligne.

NB : le tracé en plan est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 2013 est joint en format A3 dans l'annexe.

Chapitre V :
PROFIL en LONG

V. PROFIL EN LONG

Le profil en long est le profil longitudinal aussi est l'un des trois éléments géométriques d'une voie ferrée. Il est défini par la projection horizontale de la côte de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.
Il est constitué des déclivités (paliers, pentes et rampes) reliées entre elles par des courbes circulaires en cas de changement de déclivité ou parabolique, ces éléments représentent la ligne rouge qui est la ligne de projet.
Comme les rayons verticaux sont très grands, il n'y a pas des raccordements progressifs.
Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les caractéristiques suivantes :

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

V.1. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG

Les éléments géométriques du profil en long (Figure V.1) sont

V.1.1. Les déclivités droites

Sont caractérisées par leur longueur et leur inclinaison, le sens de cette inclinaison dépend de la direction de la circulation.

- **Pente** : « déclivité négative » ; pour un tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans la direction de circulation.
- **Rampe** : « déclivité positive » pour une section où la hauteur augmente.
- **Palier** : « déclivité nulle » c'est la section où la hauteur est constante, cas des gares.

V.1.2. Raccordements de déclivités

- **Courbes de raccordement vertical** : Les raccordements des pentes et des rampes se fait par des courbes circulaires ou paraboliques.

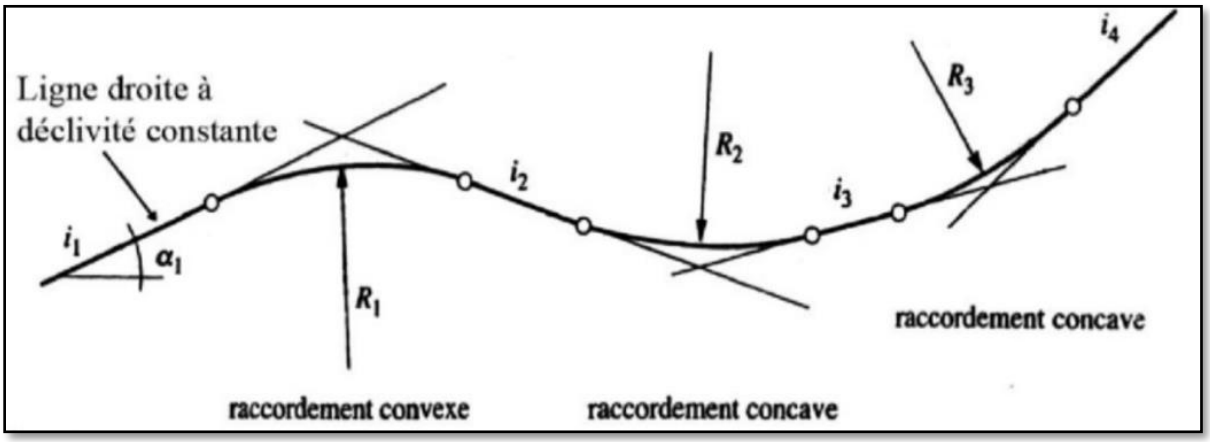


Figure V. 1: Élément géométrique du profil en long.

V.2. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG

Selon la norme SNTF l'élaboration du profil en long s'appuiera sur des règles et des recommandations pour assurer la stabilité et la sécurité, confort et l'évacuation des eaux, parmi ces règles on présente :

- Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- Concevoir un tracé en plan et un profil en long collant au terrain naturel, ce qui permet de réduire fortement les risques d'ensablement.
- Suivre le terrain en léger remblai, en évitant les dunes.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par les règlements.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long ; Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais.
- Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux et isolé la voie ferrée du paysage.
- Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- Assurer un bon écoulement des eaux. On place les zones des dévers nuls en tracé en plan avec une pente en profil en long.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Remplacer plusieurs lignes brisées par un cercle unique.

V.3. PARAMETRE DU TRACE A RESPECTER

V.3.1. Déclivité maximale

Selon le référentiel SNTF, géométrie de la voie chapitre (6) la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

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

V.3.2. Rayon admissible en raccordements de profil en long

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité.
Les valeurs des rayons minimaux admissibles des raccordements circulaires en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :
Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse « V » un raccordement de profil en long de rayon R_v, il est soumis à une accélération centrifuge :

$$\mathbf{av} = \frac{\mathbf{V_{max}^2}}{\mathbf{Rv}} \qquad \text{En (km/m. h}^2\text{)}$$

$$\mathbf{av} = \frac{\mathbf{V_{max}^2}}{\mathbf{12.96\ Rv}} \qquad \text{En (m/s}^2\text{)}$$

Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans raccordement progressif. Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.
Selon le référentiel technique de la SNTF les rayons minimums sont dans le tableau suivant : (Avec V en km/h).

Tableau V. 1: Les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil en long.

Valeurs normale (m)	**$0.35V^2 = 16940$**
Valeur exceptionnelle (m)	**$0.25V^2 = 12100$**

L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à respectivement 0,22 et 0,31 m/s².

V.3.3. Longueur minimale des pentes uniformes

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

Tableau V. 2: Limites des valeurs de la longueur minimale des déclivités constantes.

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

Pour le cas de projet :

- Le rayon vertical minimum est $\mathbf{R_{v\ min} = 0.35\times V^2 = 0.35 \times 220^2 = 16940m.}$ avec une longueur minimale de 30m.
- La longueur minimale normale des déclivités est $\frac{\mathbf{220}}{\mathbf{2}}$ = **110 m.**

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

Tableau V. 3: paramètre profil en long.

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

V.4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN

Pour assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions :

- 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 (alignements ou pleine courbe)).
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

V.5. LE PROFIL EN LONG RETENU

V.5.1. Pleine voie

Le terrain de région d'étude est pratiquement plat, avec une dénivellation très faible.
Le profil en long de la pleine voie aura des déclivités au moyenne qui varieront de 0 ‰ jusqu'à 2.7 ‰. Avec un palier de 3.98 Km.

- La côte est de FSR= 17.2+22+0.8 +30 -1.35×4 = 0.647 m
- Le profil en long est en remblais plus que déblais à cause des raisons liées à l'ensablement Donc on a que deux zones des déblais.

V.5.2. BOUCLE DE RACCORDEMENT

Pour une vitesse **V = 80 km/h**, le **$R_{v,min}$ = 2240 m**.

Le profil en long de raccordement est fait en fonction des niveaux FSR de la voie existante et la nouvelle voie. Pour cela on obtient qu'une seule rampe d'ordre 11.86 ‰ qui relier entre les deux niveaux envisagés et deux paliers en débit et fin de profil.

Avec une cote de FSR = 0.64 m

NB : le profil en long est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 2013 et STAR APIC, le profil en long est joint en format A3 dans l'annexe.

Chapitre VI : ETUDE des CONTRAINTES

VI. ETUDE DES CONTRAINTES

VI.1. INTRODUCTION

Afin d'assurer le bon déroulement de tous travaux de terrassement et pose de voie il est obligatoire d'effectuer une analyse du site afin de déterminer les obstacles (voirie et réseaux divers, route …), qui sont considérés comme des contraintes à éviter ou bien à contourner et protéger dans les cas inéluctables, pour ne pas perturber leur fonction.

Sur le tracé de Pk 0+000 au Pk 12+000, plusieurs contraintes ont été enregistrées. Elles sont liées principalement aux :

- Les conduits d'eau.
- Gazoducs.
- Lignes électriques.
- Routes et chemins.
- Les constructions.

VI.2. LES CONTRAINTES

VI.2.1. Les conduites d'eau

Conduite d'eau usées et d'assainissement pour le rejeter dans le collecteur principal, traversent la ligne du tracé ferroviaire plus au moins avec un angle perpendiculairement
On trouve sur le tracé le passage de deux conduite E.U.

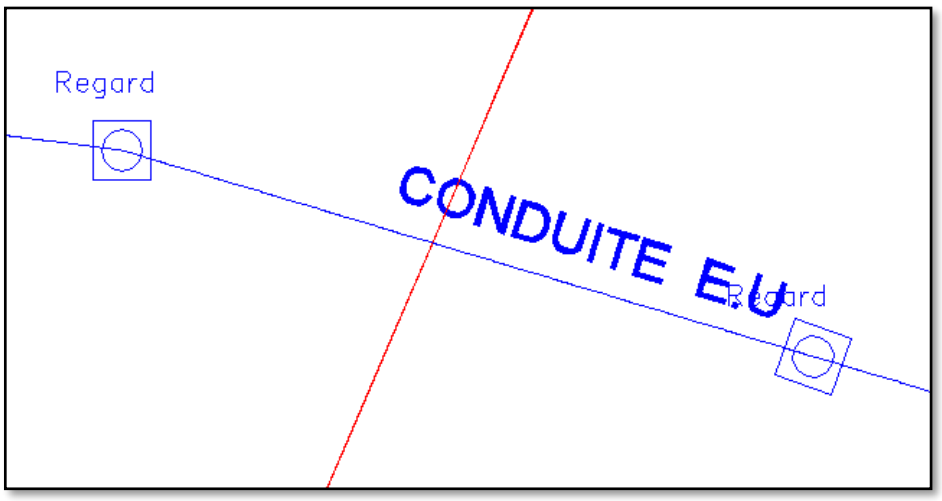


Figure VI. 1 : conduits des eaux usées au Pk 3+509

trois conduites d'assainissement l'une qui traverse l'axe de la ligne. (Figure VI.1). Et l'autre travers la boucle de raccordement (Figure VI.2), sont résumé dans le (tableau VI.1)

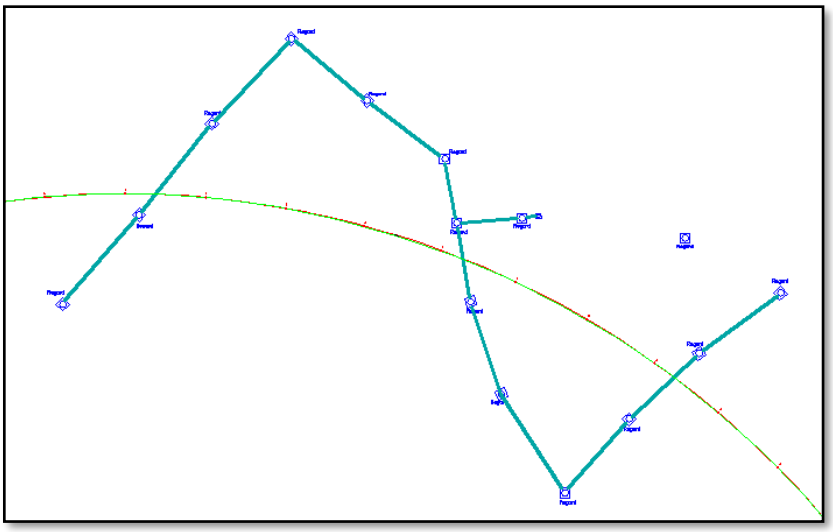


Figure VI. 2 : conduite d'assainissement qui travers la boucle.

Tableau VI. 1 : tableau récapitulatif des conduits d'assainissement traversé par le tracé.

Localisation		Contrainte	Solution
Axe de la ligne	2+215	Conduite d'eau usée ϕ = 200 mm	Protection par des ouvrages en béton de forme Ω
	4+703	Conduite d'eau usée ϕ = 200 mm	
	6+660	Conduite d'assainissement ϕ = 800 mm	
Boucle	0+392	Conduite d'assainissement	
	0+468	Conduite d'assainissement	
	0+565	Conduite d'assainissement	

VI.2.2. Les Gazoducs

Un gazoduc est une canalisation destinée au transport de matières gazeuses sous pression.
Le gazoduc traverse l'axe principal Au Pk 9+878 avec un angle de 35 °.(Figure VI.3)
Le franchissement des pipes se fera sous la voie ferrée grâce à des portiques en béton armé préfabriqués (forme Ω) ces ouvrages seront dimensionnés pour supporter les surcharges des remblais et les charges de trafic ferroviaire.
La conception de ces ouvrages répondra aux critères suivants :

- La hauteur de l'ouvrage permettra le cheminement du personnel d'entretien des conduites, la hauteur libre sera de l'ordre de 1,80 m.
- Un recouvrement en terres minimum de 1,10 mètre jusqu'à la cote du rail, ainsi que le biais minimum de 30º est recommandé.

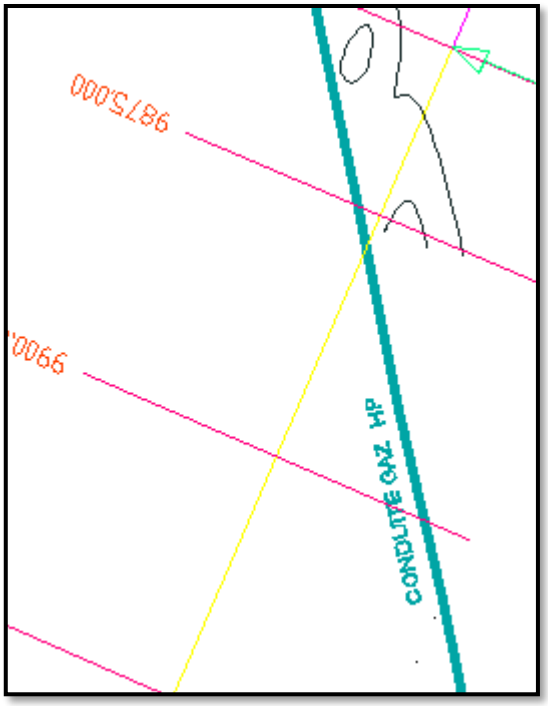


Figure VI. 3 : croissement de conduite de gaz avec l'axe au PK 9+878.

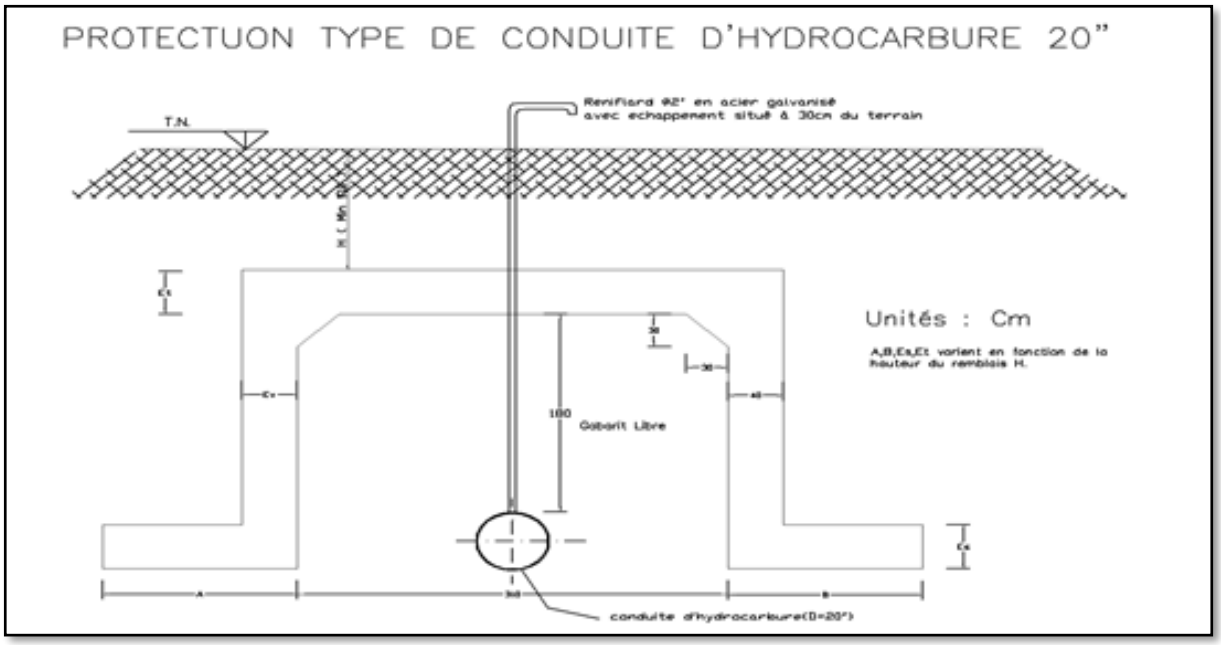


Figure VI. 4: exemple d'un ouvrage de protection.

VI.2.3. Lignes électriques

Le tableau ci dessue ressemble toutes les lignes électriques qui traversent le tracé :

Tableau VI. 2 : Tableau récapitulatif des lignes électriques traversées par le tracé.

Ligne	Pk	Description
1	0+88	Croisement en biais d´une ligne électrique haute tension (environ **60.000 Volt). La voie se situe en remblai.**
2	0+177	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
3	0+212	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
4	1+201	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
5	1+262	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
6	1+569	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
7	2+522	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
8	3+515	Croisement en biais d´une ligne électrique haute tension (environ **60.000 Volt). La voie se situe en remblai**
9	3+631	Croisement en biais d´une ligne électrique haute tension
10	3+685	Croisement en biais d´une ligne électrique haute tension
11	3+816	Croisement en biais d´une ligne électrique haute tension (environ **60.000 Volt).**
12	3+939 4+000	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
13	4+745	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en remblai**
14	4+757	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en déblai**
15	7+158 7+280	Croisement en biais d´une ligne électrique moyen tension **La voie se situe en en déblai**
16	7+375	Croisement en biais d´une ligne électrique très haute tension. La voie se situe en déblai
17	0+477	Croisement de la boucle en biais avec ligne électrique basse tension La voie se situe en remblai

Les lignes électriques qui croisent la nouvelle ligne ferroviaire devront accomplir les contraintes :

- La distance horizontale entre la fin de pied de talus et un poteau électrique sera 1,5 fois la hauteur du poteau.
- La distance verticale entre la cote du rail et le câble du réseau électrique sera au minimum 15 mètres.

VI.2.4. Routes et chemins

Les passages à niveau sont strictement interdits dans la ligne grand vitesse. Il est donc nécessaire de rétablir les communications routières par-dessus ou par-dessous la ligne, ainsi que les routes et chemins parallèles.



Figure VI. 5: intersection au niveau de Pk 0+800.

Le tableau suivant illustre les déférents chemins et routes qui traversent notre tracé :

Tableau VI. 3 : Tableau récapitulatif de rétablissements des passages à niveaux.

N°	Localisation	Type	Solution
01	0+800	Route nationale 03	Rétablissement par Passage supérieur
02	4+725	Chemin wilaya	Passage supérieur
03	6+830	Chemin wilaya	Passage supérieur
04	9+055	Route Communale	Passage supérieur

VI.3. Les ouvrages d'art

VI.3.1. Ponts rails :

Selon le relief du terrain naturel rencontré, qui est pratiquement plat, il n'est pas prévu de réaliser de viaducs ni de ponts rails.

VI.3.2. Franchissements inférieurs de la voie ferrée (ponts routes)

Dans le cadre de la réalisation de la ligne nouvelle Touggourt-Hassi Messaoud (ligne à grand vitesse) les passages à niveau sont strictement interdits,

La solution développée est le rétablissement des axes routiers et des chemins rencontrés, qui croisent la ligne ferroviaire projetée dans cette étude entre Touggourt et Hassi Messaoud.

Les ouvrages d'art de franchissement des axes routiers et des chemins ont donc été projetés tout au long du tracé. Tous les axes routiers ou les chemins qui croisent la voie ferrée, sont rétablis par des passages supérieurs (ouvrages courants).

Une typologie adaptée à la dimension de chaque type d'infrastructure rencontrée par le projet, afin de permettre la perméabilité à travers la future ligne ferroviaire en conservant les capacités propres à chaque type d'axe, piste, chemin, chemin de wilaya, route nationale et passage ….

VI.3.3. Caractéristiques des passages supérieur

Dans le tronçon de cette étude y'a au total quatre passages supérieurs dont les caractéristiques et les dimensions sont indiquées dans le tableau suivant;

Tableau VI. 4: Caractéristiques des passages supérieur.

Passages supérieurs : ponts en béton armé	
Type	Pont isostatique à 3 travées
Largeur de l'ouvrage	L= 18 m.
Longueur d'ouvrage	0.72 L + L+ 0.72 L = 44 m.
Élancement	e /L = 22.5 m.
Les appuis de rives	Culées remblayées
Les appuis intermédiaires	Piles voiles
Dalle	En béton armé de 80 cm d'épaisseur
Gabarit	Le gabarit vertical minimal entre intrados du tablier et la voie ferrée est fixé à 6,35 m.

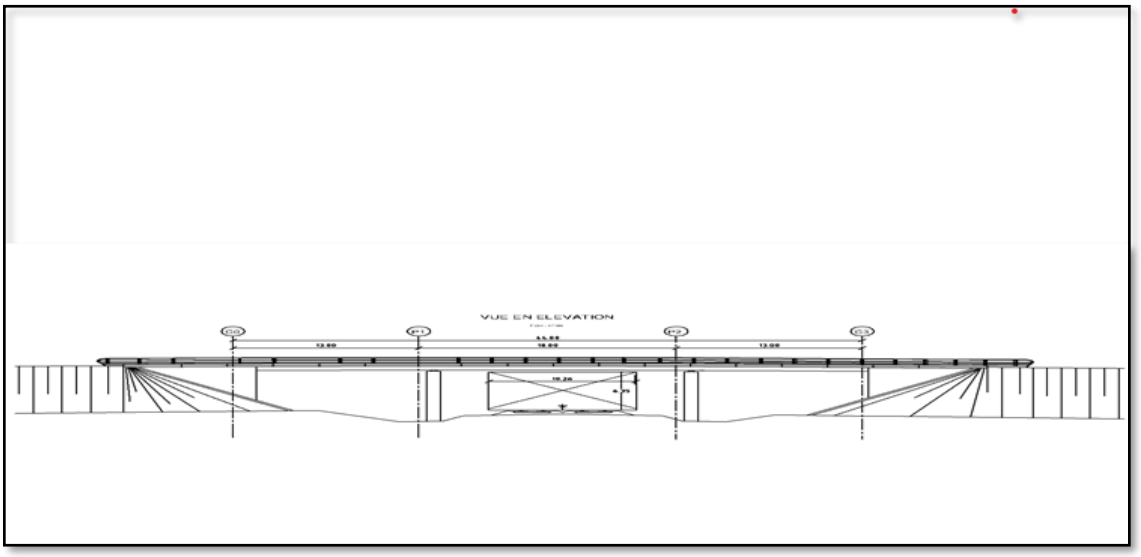


Figure VI. 6: vue en élévation.

VI.4. CONCLUSION

Toutes les contraintes citées dans ce présent chapitre ont été prises en considération, de façon à chercher les solutions qui seront adaptées au tracé.

Chapitre VII : ETUDE GEOTECHNIQUE et GEOLOGIQUE

VII. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques géologiques de la zone de projet, et avoir une connaissance précise sur le sous-sol, sa composition et son comportement.
Ce chapitre présente les caractéristiques géologiques et géotechniques de la zone et des matériaux sur lesquels la nouvelle ligne, tronçon Touggourt-Hassi Massoud de PK0+000 au PK 12+000 sera réalisée.

VII.2. ÉTUDE GEOLOGIQUE

VII.2.1. Contexte géologique général de la zone objet de l'étude

La carte géologique de Touggourt met en évidence l'affleurement des formations Quaternaires. Il s'agit des dunes et Le Quaternaire continental et les alluvions actuelles.

NB : la carte géologique de la région est donnée dans l'annexe de ce mémoire.

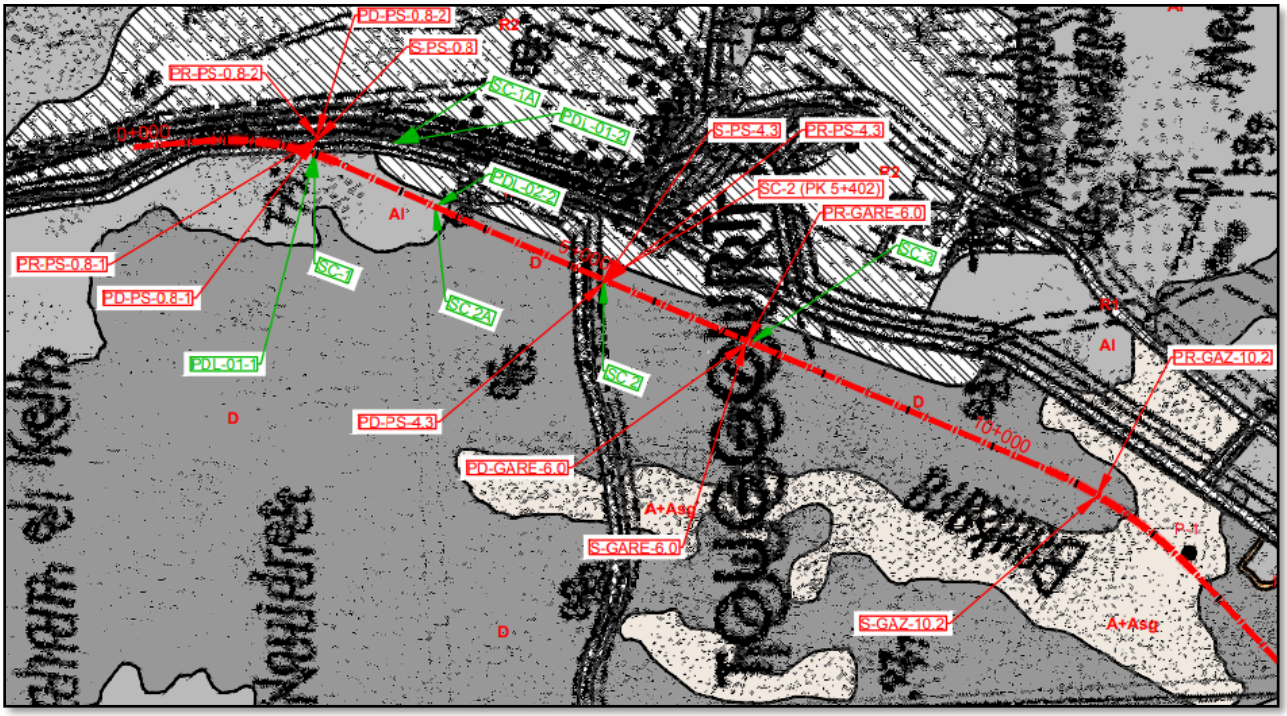
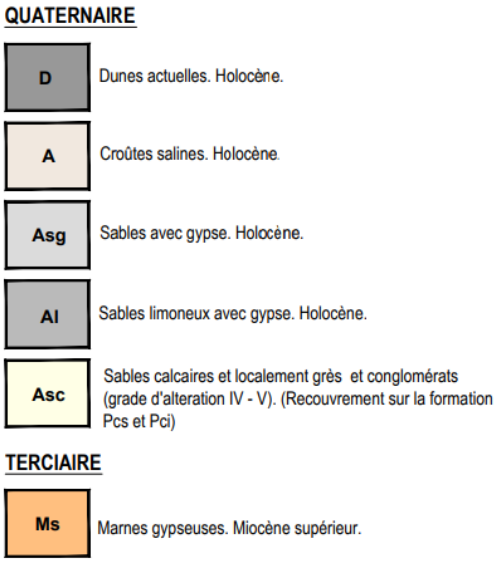


Figure VII. 1:Géologie Générale le long du couloir objet de l'étude.



VII.2.1.1. Litho stratigraphie

D'après la carte géologique de l'Algérie (Figure VII.1) ; on distingue sur le couloir de passage de tronçon d'étude 2 ères chronologiques de formation des dépôts, ils sont cités ci-dessous du plus ancien au plus récent :

VII.2.1.1.1. Tertiaire

- **Marnes gypseuses (Ms) Miocène supérieur**

On les retrouve déposées tout le long du tracé de (PK 0+000 au PK12+000). Cette formation se caractérise par une série de marnes argileuses de couleur vert- claire avec quelques bandes de gypse cristallin. Sous ces faciès, on a aussi observé des marnes de couleur blanche, oranges (possible phénomène d'oxydation.

VII.2.1.1.2. Quaternaire

- **Sable fin de limons avec gypse (Al) :**

On observe une série de formations détritiques formées par des limons sableux et des sables de limon marron avec quelques cristaux de gypse. De (PK0+000 au PK 12+000).

- **Dunes actuelles (D) :**

Il s'agit des dépôts sédimentaires générés par l'accumulation de sable, dû principalement à l'action du vent (PK 3+500 au PK 12+000).

- **Sables gypseux (Asg) :**

Il s'agit de sable fin à gros de couleur marron avec des indices de limons et quelques fragments de gypse cristallin de la taille du sable gros à gravier fin

- **Croûtes salines (A)**

Elles constituent des zones endoréiques, Dû à une évapotranspiration élevée, il y a des précipitations de sel.

VII.2.2. La séismicité de la zone d'étude

Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art (R.P.O.A 2008) ont établi des règles, qui sont fonctions de l'intensité de l'action sismique d'une région, pour tenir compte de la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région d'étude. Ces règles divisent le territoire algérien en cinq « 05 » zones sismiques.

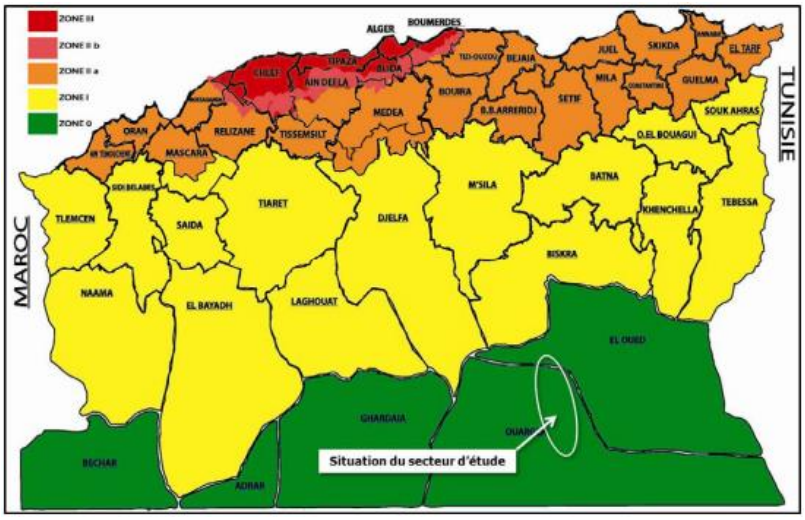


Figure VII. 2: carte sismique de l'Algérie de la distribution des zones sismiques.

Pour la zone d'étude, dans la wilaya de Touggourt, le risque des tremblements de terre est **négligeable « zone 0 »**, n'étant donc pas nécessaire de considérer l'analyse avec le séisme.

VII.2.3. Risques géologiques

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

- Tempêtes de sable et poussière. Dues au fait que le tracé se déroule en zone désertique, ces phénomènes pourraient causer des dommages matériels considérables.
- Dissolution de la croûte et hydratation de sel. Étant donné que la pluie est habituellement sporadique et que l'évaporation agit intensivement, il se forme des croûtes évaporatoires susceptibles de se dissoudre. D'un autre côté, il peut aussi se produire des phénomènes d'hydratation avec le gonflement.

VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE

Dans tout projet linéaire et projet de construction, la reconnaissance géotechnique doit être réalisée avec soin afin de permettre une reconnaissance détaillée des conditions géologiques et géotechniques du projet et de fournir les éléments nécessaires à la conception et aux calculs des ouvrages.
L'investigation géotechnique traité les aspects suivants :

- **Dimensionnement de la plate-forme ferroviaire** pour cela on réalise des ;

- Puits de reconnaissance : de 3 à 5 m de profondeur pour un but de déterminer la nature de sol, selon les classifications GTR et UIC afin de permettre d'avoir la nature de sol et de vérifier la présence d'eau.
- Essais pénétration dynamique : au moyen de pénétromètre dynamique lourd pour nous informer sur la consistance et la résistance du sol.
- Sondages carottés : pour l'étude de stabilité. Permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols et de déterminer la description lithologique.

- **Dimensionnement de fondations des ouvrages d'art et les bâtiments**

Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques en place afin de déterminer la portance du sol et le type de fondation adéquate. Pour cela on fait des,

- Sondages carottés (Quel que soit pour les ouvrages en béton ou en terre), avec des sondages pressiométriques pour les fondations (des ouvrages d'art, bâtiments).

- **Traitement des zones des risque géotechnique, les zones d'emprunt de matériaux**

Il s'agit de faire des puits de reconnaissance et de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques pour rechercher des matériaux susceptibles d'être utilisés en remblai et couche de forme.

VII.3.1. Plate-forme

VII.3.1.1. Section déblais

Selon la ligne rouge du profil en long il y'a lieu de prévoir l'exécution de puits de reconnaissance de 02 à 04 m de profondeur sur les sections en déblais, ils seront exécutés à la pelle mécanique. Il sera prélevé une quantité suffisante de matériau remanié pour les besoins des essais d'identification et essais mécaniques permettant de nous renseigner sur la possibilité de réutilisation des matériaux en remblais. Par ailleurs, il sera prélevé des puits et des sondages des échantillons intacts paraffinés pour la détermination des paramètres intrinsèques et de comportements du matériau en place (teneur en eau, densité, cohésion, angle de frottement).

Il sera réalisé aussi des pénétromètres dynamiques sont prévus pour avoir une estimation continue de la résistance du terrain.

Tableau VII. 1: programme géotechnique des sections en déblai.

Localisation Pk	Hauteur moy du déblai	Longueur de déblai	Essai géotechnique		
			Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
3+525	H =0.5 m	L = 138 m	- Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard	02 Au Refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Proctor modifié. - CBR - Essais de la résistance à la compression simple. - Analyses chimiques.
10+475	H= 1.4 m	L = 118 m	- Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au Refus Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Proctor modifié. - CBR - Essais de la résistance à la compression simple. - Analyses chimiques.

VII.3.1.2. Section remblais

Pour répondre aux normes géométriques du tracé certaines zones sont surélevées par des remblais de différentes hauteurs. A cet effet on prévoit l'exécution de plusieurs puits de reconnaissance par section, selon sa longueur et l'hétérogénéité du sol. Les puits seront exécutés à la pelle mécanique sur une profondeur de 3 à 4 m. et des pénétromètres dynamiques sont prévus pour avoir une estimation continue de la résistance du terrain.

Il sera prélevé des échantillons intacts paraffinés pour la détermination des paramètres intrinsèques et de comportements du matériau en place (teneur en eau, densité, cohésion, angle de frottement, paramètres de compressibilité et de consolidation).

Tableau VII. 2: programme géotechnique des sections en remblai.

Localisation Pk	Hauteur moy du remblai	Essai géotechnique		
		Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
Du Pk 0+736 Au Pk 1+956	2.5 m	- 02 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au Refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.

Du Pk 1+979 Au Pk 2+171	2.2 m	- Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Du Pk 2+181 Au Pk 3+444	2.5 m	- 02 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Du Pk 3+615 Au Pk 6+443	2 m	- 02 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Du Pk 6+461 Au Pk 7+117	2 m	- 02 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	03 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Du Pk 7+131 Au Pk 9+064	4 m	- 03 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	04 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Du Pk 9+205 Au Pk 10+380	4 m	- Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	04 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique. -
Du Pk 10 +540 Au Pk 12 +400	5m	- 02 Puit de reconnaissance. - Pénétromètre dynamique. - Essais pénétration standard.	04 Au refus	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.

VII.3.1.3. Lot ouvrage d'art et bâtiment

La campagne d'investigation géotechnique du lot « ouvrages d'art » comprend l'exécution d'un sondage carotté à proximité de chaque ouvrage aussi que des essais pénétromètre dynamique et essai pressiométrique. Les résultats de la campagne pour les remblais seront exploités pour compléter cette dernière. Il sera prélevé des échantillons intacts paraffinés pour la détermination des paramètres intrinsèques et de comportement du matériau en place, avec des pénétromètres dynamiques sont prévus pour avoir une estimation continue de la résistance du terrain.

Tableau VII. 3: programme géotechnique pour les ouvrages d'art et bâtiment.

Ouvrage	Localisation	Essai géotechnique		
		Essais in situ	Prof (m)	Essais au laboratoire
Passage supérieur (Rétablissement Routier)	**0+825**	- Sondage carotté. - Essai pressiométrique. - Essais pénétromètre dynamique jusqu'au refus.	**15**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Passage supérieur	**4+050**	- Sondage carotté. - Essai pressiométrique. - Essais pénétromètre dynamique jusqu'au refus.	**15**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Passage supérieur	**4+725**	- Sondage carotté. - Essai pressiométrique. - Essais pénétromètre dynamique jusqu'au refus.	**15**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.
Gare	**6+475**	- Sondage carotté. - Puit de reconnaissance. - Essais pénétromètre dynamique jusqu'au refus.	**10**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Essai cisaillement rectiligne. - Essai Oedométrique.

VII.3.1.4. Zone d'emprunt

Le projet objet d'étude nécessite des travaux de terrassements dont les remblais en quantités très importantes, d'où les matériaux qui seront mis en œuvre devront répondre aux spécifications et normes de construction des projets linéaires à savoir la propreté la stabilité la dureté... etc.

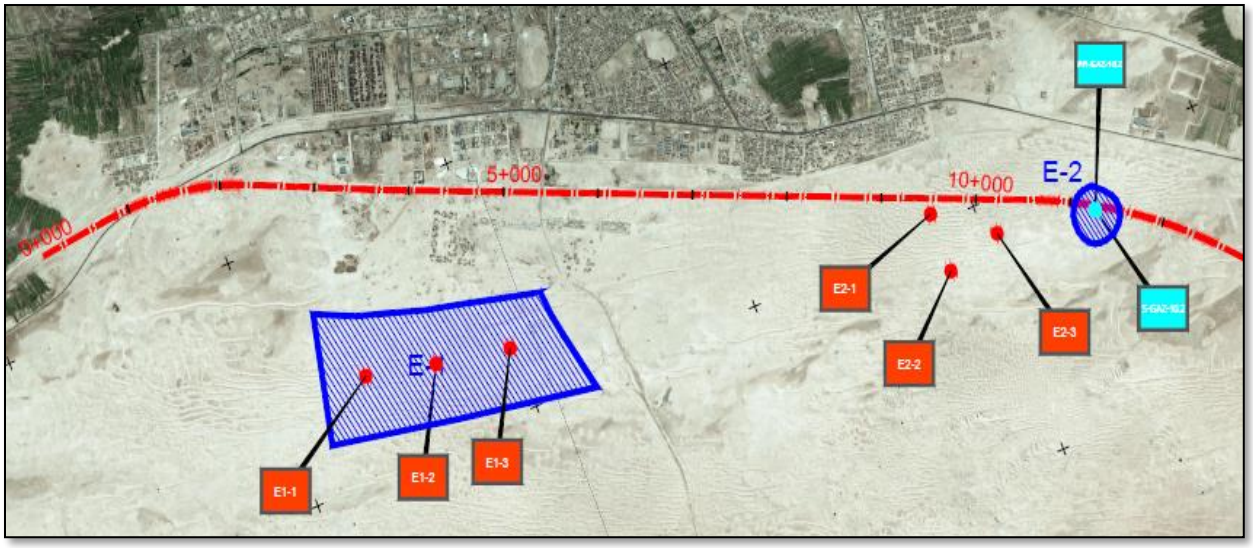


Figure VII. 3: zones d'emprunt.

A cet effet on prévoit l'exécution des sondages carottés avec des puits de reconnaissance et il sera prélevé des échantillons intacts paraffinés pour la détermination des paramètres intrinsèques et de comportement du matériau en place.

Pour opter pour un gite il y'a lieu de prendre connaissance des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux des différents gites pour se faire une série d'essais de laboratoire sont préconisés à savoir :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité).
- Analyses chimiques (PH, Sulfates, Chlorures et Carbonates).
- Essais mécaniques (CBR, Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et essai de résistance à la compression simple).

Tableau VII. 4: programme géotechnique pour les zones d'emprunt.

Emprunt	Localisation	Essai géotechnique		
		Essais in situ	Prof (m)	Essais au laboratoire
01	4+500	- Puit de reconnaissance. Avec prélèvement des échantillons.	**03**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Proctor modifié. - CBR. - Analyses chimiques.
02	10+000	- Puit de reconnaissance. Avec prélèvement des échantillons.	**03**	- Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..). - Proctor modifié. - CBR. - Analyses chimiques.

Remarque : Dans tout projet, il y a obligation d'établir un programme d'investigation géotechnique. A cet effet on a réalisé un propre programme pour cette étude jugé suffisant pour déterminer les caractéristiques du sol (physique, mécanique, chimique…etc.) devant accueillir le projet étudié. Programme d'investigation géotechnique ne présente pas une grande dissemblance par rapport à celui qui a été déjà établi en APD. La différence se présente dans le petit décalage de mon tracé comparé au tracé au cours de réalisation, ce qui fait que la position des essais in situ change aussi pour le programme des remblais et déblais.
Dans le cadre du projet de fin d'études « PFE », on ne dispose pas les données exactes appropriés aux PK qu'on a choisi (il n'y pas des vrais essais réalisés dans ces PK), donc on se réfère aux données des essais qui ont été déjà faites dans l'APD et le programme de prospection géotechnique fait par Seti Rail. (Avec conservation de même PK de l'APD).

VII.4. INTERPRETATION DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE GEOLOGIQUE

VII.4.1. Analyse des matériaux des zones d'emprunts

VII.4.1.1. Puit de reconnaissance



Figure VII. 4: puits de reconnaissance E1-1.

Tableau VII. 5: résultats des puis de reconnaissance sur les emprunts.

Emprunt	PK	Champ d'exécutée	Épaisseur de la couche (m)	Description lithologique
E 1	3+601	E 1-1	0.40	Sable des dunes jaunâtre
			2.40	Sable fin beigeâtre avec des concrétions de gypse
	4+310	E 1-2	0.70	Argile marneuse brunâtre avec des concrétions de gypse
			2.20	Sable- limono-argileux rougeâtre à brunâtre avec des concrétions gypso-calcaires
	5+092	E 1-3		Sable des dunes jaunâtre
				Sable limoneux jaunâtre à brunâtre avec des concrétions de gypse.
E 2	9+522	E 2-1	0.40	Sable des dunes jaunâtre
			2.40	Sable limono-argileux brunâtre avec des concrétions gypse (Nappe d'eau à 1.80m)
	9+744	E 2-2	0.80	Sable jaunâtre très compact
			0.80	Sable fin argileux blanchâtre à brunâtre avec des concrétions de gypse
				Hors de 1.6 m impossible de creuser terrain très dur
	10+229	E 2-3	0.90	Sable des dunes jaunâtre
			2.40	Sable limono-argileux parfois argile limono-sableuse de couleur jaunâtre à rougeâtre avec des concrétions de gypse (Nappe d'eau à 2.20m)

D'où les emprunts E1 et E2 appartiennent à la formation Al (Sable fin de limons avec gypse).

VII.4.1.2. Résultats des essais au laboratoire

D'après les essais réalisés sur les échantillons recueillis lors des différentes reconnaissances en champ, on peut apprécier les résultats suivants :

Tableau VII. 6: résultats des essais au laboratoire des zones d'emprunt.

Zone	Puits / Sondage	Profondeur en (m)		Analyse granulométrique		Limites d'atterberg			ES (%)	Essai Proctor Modifié	
		de	à	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)		γ_{dopt} (g/cm^3)	Wopt (%)
E1	E1-1	0.40	2.80	96	16	32	14	18	14		
	E1-2	0.70	2.90	98	32	28	17	11	0	1.91	13.68
E2	E2-2	0.80	1.70	100	85	-	-	-	-	1.57	23.58
	E2-3	0.90	3.10	74	61	86	39	48	-	1.70	21.49

Tableau VII. 7: suite résultats des essais au laboratoire des zones d'emprunt.

Zone	CBR			Analyse chimique du sol				Plasticité	Classif GTR	Classif UIC
	10 c/c	25 c/c	55c/c	SO4 %	Cl %	MO %	Sels solubles			
E1-1				5.30	0.30	2.30	5.90	Peu plastique	B 6	QS1
E1-2	10.60	23.50	24.50	0.90	0.40	2.80	1.60	Peu plastique	B 5	QS1
E2-1	63.10	139.40	152.70	44.80	0.40	14.20	45	-	A	QS0
E2-2	1.60	3	3.80	6.10	0.40	8.20	7	Très plastique	A4	QS0

En relation avec les essais en laboratoire, on peut faire les observations suivantes :

- L'essai d'Équivalent de Sable (ES) montre des valeurs comprises entre 0% et 14% inférieur à 60 % ; d'où sable argileux risque de retrait ou de gonflement.
- Pour E1-2 densité sèche maximales déterminée dans l'essai Proctor Modifié est de 1,91 g/cm3 dont humidité optimale est de 13,7%. Peu plastique, L'essai CBR présente des Valeurs sont de 24,5. La capacité portante est supérieure à 20 selon l'essai CBR.

Selon GTR et Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme (Classification norme NF P 11 300) ;

- E1-1 : classe B 6 sables et graves argileux à très argileux sec type S1,
- E1-2 : classe B 5 sables et graves très silteux, type S1.

Suite au GTR ; Pour ces sols, il faut compenser l'insuffisance de la teneur en eau par compactage intense, un arrosage ou une humidification avec un malaxage soigné et une quantité d'eau important. (Difficulté de traficabilité)

- E2 : A 4 sols fins classe S0.

Par les résultats obtenus, on conclut que :

- Les zones d'emprunt (E2) qui ont été classés comme QS0 sols impropres ont été exclus. L'analyse de ces échantillons montre une haute plasticité ou contenu en sels solubles, Sont à la fois très difficiles à travailler et dont l'utilisation comporterait de grands risques de retrait, gonflement et de stabilité ce qui les rendent peu recommandables pour sa réutilisation dans la trace.
- E1 se classe comme sols sableux et graveleux avec fines type QS1. On propose l'utilisation de ces matériels dans le noyau et la fondation de remblais.

VII.4.2. Analyse des matériaux des déblais remblais

VII.4.2.1. Résultats de Sondage mécanique

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. Dans ce tronçon d'étude, une campagne de 4 sondages mécaniques a été réalisés. Les travaux de sondages ont été effectués au moyen d'une sondeuse de type APAFOR, par le procédé rotatif non destructif. Des échantillons de sol ont été paraffinés pour les besoins des essais de laboratoire.



Figure VII. 5 : Sondage S-PS 0.8 (0- 5.45m).

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous (tableau VII.8) :

Tableau VII. 8: résultats des sondages effectués sur le tronçon d'étude.

Sondage	PK	Objectif	Profondeur (m)	Description lithologique
S-PS-0.8	**1+950**	**Passe supérieure**	**0 – 3**	Sable fin à moyen de couleur brune, lâche
			3 – 5	Sable fin a moyen de couleur blanchâtre, lâche
			5 – 9.5	Sable fin a moyen avec trace d'argile, de couleur grisâtre
			9.5 – 10.5	Sable argileux brun
			10.5 – 18	Argile limoneuse brune, plastique
S-PS-4.3	**5+401**	**Passe supérieure**	**0 – 3.75**	Sable fin à moyen brun avec trace d'argile, contenant du gypse.
			3.75 – 4.75	Argile limoneuse brune, gypseuse et plastique.
			4.75 – 8.95	Sable fin à moyen brun très peu argileux à argileux en allant de plus en plus vers le base, contenant du gypse.
			8.95 – 18	Argile gypseuse brune, peu sableuse et plastique.
S-gare-	**7+180**	**Gare**	**0 -18**	Sable fin à moyen brun avec trace d'argile à peu argileux et contenant du gypse, de couleurs variables : brune, brune verdâtre, brune bleuâtre pour devenir carrément noirâtre au-delà de 15.50 de profondeur.
S – gaz-10.2	**11+261**	**Conduit de gaz**	**0 – 18**	Sable fin à moyen brun verdâtre, avec trace d'argile humide à saturé à partir de 10m de profondeur

Les sondages carottés réalisés ont révélé un terrain constitué majoritairement, de sable. On rencontre aussi une formation d'argile gypseuse raide et/ou indurée.

NB : Les coupes lithologiques de ces sondages des caisses à carottes correspondantes sont jointes en annexe de ce chapitre.

VII.4.2.2. Résultats des puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance ont été réalisés à l'aide d'une pelle mécanique, Des échantillons de sol remaniés ont été prélevés systématiquement pour les besoins des essais de laboratoire.
Les puits de reconnaissance ont permis de reconnaître et de caractériser les couches superficielles de sol rencontrées le long du tracé. (Tableau VII.9)

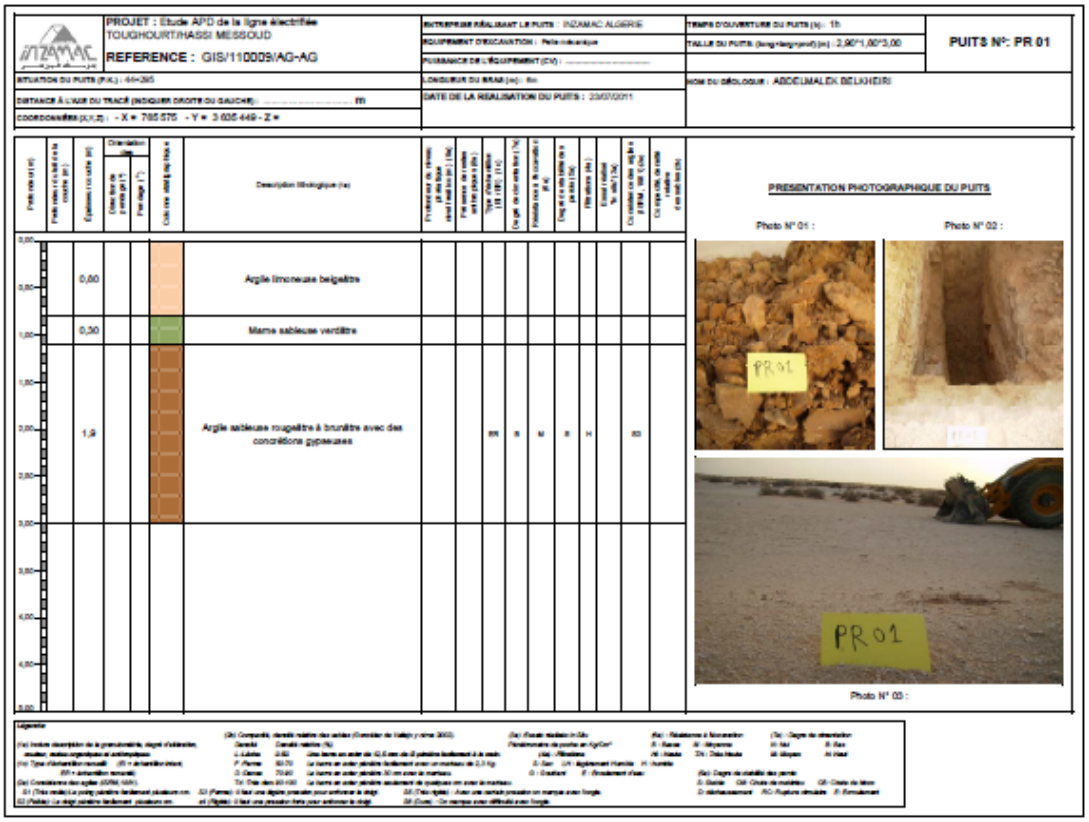


Figure VII. 6: résultats d'un puit de reconnaissance.

Ainsi, l'examen des coupes des cinq (05) puits de reconnaissance fait ressortir les formations suivantes :

Tableau VII. 9: résultats des puits de reconnaissance.

Puit Rec	Pk	Objectif	Profondeur (m)	Description lithologique
PR - 01	**Environ 0+000**	**Plateforme**	**0 – 3**	Sable beiges moyennement compact contenant du gypse à peu gypse
PR – PS-0.8-1	**1+940**	**Passage supérieur**	**0 – 4**	Sable fin à moyen, brun beige
PR -PS-0.8-2	**1+946**	**Passage supérieur**	**0 – 4**	Sable fin à moyen, brun beige
PR-PS-4 ,3	**5+417**	**Passage supérieur**	**0 – 2.50**	Sable fin à moyen, brun
			2.50 – 04	Argile gypseuse brune, plastique

PR – Gare - 6,0	**7+180**	**Gare**	**0 – 4**	Sable fin à moyen, brun beige à beige verdâtre en allant vers le base
PR- 02	**10+000**	**Plateforme**	**0 – 3**	Sable biges moyennement compact contenant du gypse à peu gypse
PR – gaz - 10,2	**11+261**	**Gazoduc**	**0 – 3**	Sable fin à moyen brun, lâche

VII.4.2.3. Essais de pénétration dynamique

Une campagne de cinq 05 essais de pénétration dynamique type BORRO et type DPSH a été réalisée, avec un système de coup automatique.

Pour le type BORRO, ces essais consistent à mesurer le nombre de coups nécessaires pour pénétrer de 20 centimètres dans le terrain, une pointe de section carré de 4x4 cm^2 et une extrémité de pointe conique de 90° sur la pointe, prolongée sur sa partie supérieure par un prisme de même section et d'une hauteur de 12 centimètres. Une massue de 63,5 Kg applique les coups avec une hauteur de chute de 50 centimètres. Un train de tige de 32 millimètres de diamètre transmet à la pointe l'énergie de la massue.

Par rapport à d'autres systèmes de reconnaissance, les essais de pénétration ont l'avantage de fournir une estimation continue de la résistance du terrain, en permettant de détecter des discontinuités ou des niveaux de petite épaisseur qui pourraient passer inaperçus avec un autre système de reconnaissance.

Les courbes de pénétration (pénétrogramme) mettent en relation le nombre de coups avec la profondeur dans chacun des essais.

Les essais au pénétromètre dynamique ont montré que le terrain possède, en général, une moyenne à bonne capacité portante.

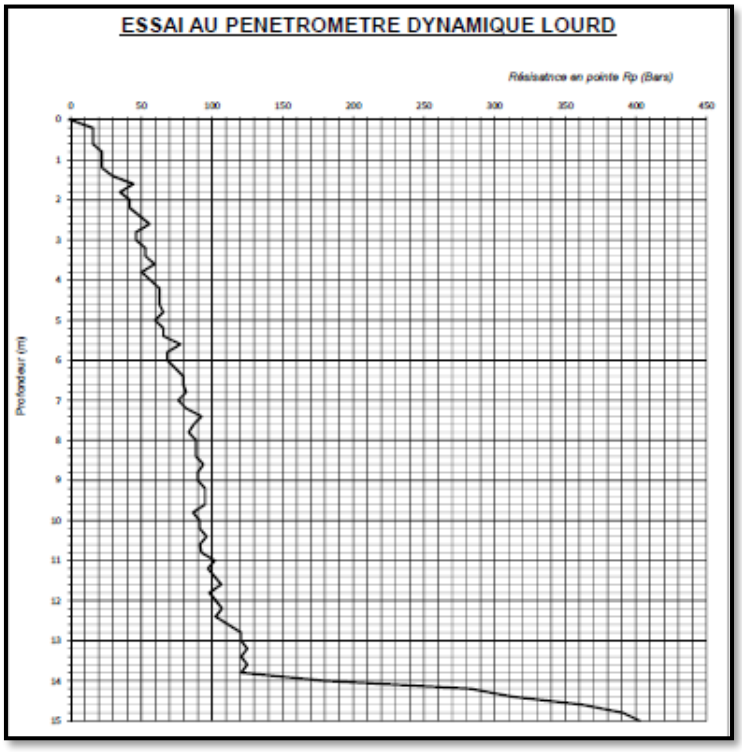


Figure VII. 7: pénétrogramme.

NB : les résultats des essais de pénétromètre dynamique qui donnent la résistance de pointe mesurée en bars en fonction de la profondeur. Joints en annexe du présent chapitre.

VII.4.2.4. Les résultats des essais en laboratoire

Les essais de laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés à l'état remanie et intact prévenant des puits de reconnaissances et les sondages carottés. Les essais collectés dans la phase d'APD et la phase d'exécution a pour but d'identifier les caractéristiques physicochimiques et mécanique du terrain du long de tronçon.
Les résultats des essais au laboratoire ont permis de classer le sol selon GTR et l'UIC.

Tableau VII. 10 : résultats des essais physiques et chimiques.

Puit / sondage	Pk	Zi (m)	Zf (m)	Groupe	Essais physiques					Analyse chimique					Classif GTR	Classif UIC
					Granulométrie		Limite d'atterberg (%)			% Insolub	% Caco3	% Gypse	% So4	% Chlor		
					< 2 mm (%)	< 0.08 mm (%)	W_L	W_P	I_P							
PR - 01	Environ 0+000	0	3	Al	(<0.4mm) 82	7	-	-	-	-	-	2.21	-	-	B1- B2	QS0/ QS1
S – PS- 0,8	1+950	5.00	5.45	Al	87	76	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-
		10.45	10.95	Al	100	95	92	33	59	66.06	17.98	7.21	4.03	-	A4	QS0
		16.50	17	Ms	100	100	95	35	60	-	-	-	-	-	A4	QS0
PR- PS – 0.8 -1	1+946	0.00	1.00	Al	92	30	-	-	-	-	-	-	-	-	A	QS0
S – PS- 4,3	5+401	3.75	4.10	Al	93	30	99	39	60	66.11	19.42	8.69	4.85	0.204	A4	QS0
		5.00	5.45	Ms	96	46	-	-	-	-	-	-	-	-	A	QS1
PR – PS – 4.3	5+417	0.00	2.50	Al	92	30	-	-	-	-	-	-	-	-	B5-B6	QS0/ QS1
S – Gare -6,0	7+180	5.00	5.45	Al	82	62	35	16	19	46.27	8.15	44.85	24.88	-	A2	QS0
		6.45	7.00	Al	100	95	46	20	26	-	-	-	-		A3	QS1
		15.30	15.60	Ms	100	83	33	15	18	-	-	-	-	-	A2	QS1
PR – Gare – 6,0	7+180	0	4	Al	100	34	-	-	-	-	-	-	-	-	B5-B6	QS0/ QS1
PR - 03	10+000	0	3	Al	(<0.4mm) 69	18	-	-	12.21	-	-	8.65	-	-	B6	QS1
S – Gaz – 10,2	11+261	5.00	5.45	Al	100	15	-	-	-	89.48	9.63	0.55	0.310	-	B5-B6	QS0/ QS1
		9.10	9.50	Al	99	93	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-

Tableau VII. 11: résultats des essais mécaniques.

Puit / sondage	Pk	Zi (m)	Zf (m)	Groupe	Essais mécaniques										Classifi UIC
					Wn (%)	γ_d (t/m^3)	γ_h (t/m^3)	RC (Bars)	Sr (%)	Proctor modifier		Cisaillement		CBR	
										Wopt	γ opt	C (bars)	Φ (°)	à 95 %	
PR - 01	Environ **0+000**	**0**	**3**	**Al**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**8.2**	**1.72**	**-**	**-**	**11.96**	**QS0/QS1**
S – PS- 0,8	**1+950**	**10.45**	**10.95**	**Al**	**29**	**1.507**	**1.946**	**6.60**	**99**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**QS0**
		16.50	**17.00**	**Ms**	**21**	**1.620**	**1.973**	**2.13**	**90**	**-**	**-**	**0.351**	**14**	**-**	**QS0**
S – PS- 4,3	**5+401**	**3.75**	**4.10**	**Al**	**35**	**1.374**	**1.854**	**-**	**97**	**-**	**-**	**0.387**	**22**	**-**	**QS0**
PR – PS – 4.3	**5+417**	**0.00**	**2.50**	**Al**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**9.6**	**1.704**	**-**	**-**	**33.09**	**QS0/QS1**
S – Gare - 6,0	**7+180**	**6.45**	**7.00**	**Al**	**36**	**1.430**	**1.958**	**-**	**100**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**QS1**
		15.30	**15.60**	**Ms**	**27**	**1.519**	**1.929**	**3.37**	**93**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**QS1**
PR – Gare – 6,0	**7+180**	**0.00**	**4.00**	**Al**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**10.9**	**1.740**	**0.659**	**25**	**45.96**	**QS0/QS1**
PR - 02	10+**000**	**0**	**3**	**Al**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**4.2**	**1.76**	**-**	**-**	**7.59**	**QS1**

D’après les résultats des essais en laboratoire on trouve que :

Les sols sont de classe variée entre A et B (Sols fins classe sols sableux et graveleux avec fines) selon GTR et de classe S0-S1 selon UIC avec :

- QS0 sols impropres à la réalisation d’une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives.
- QS1 sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage.

VII.5. LITHOLOGIES AFFECTÉES PAR LE COULOIR

Une description géotechnique générale des différentes formations géologiques affectées par le tracé étudié en fonction des informations disponibles,
Les formations lithologiques qui affleurent dans le couloir du tracé sont rassemblées dans
Les deux tableaux récapitulatifs suivants, et sont ordonnées des plus récents aux plus âgés :

Tableau VII. 12: caractéristiques g géotechnique moyennes de la formation Al.

Groupe lithologique	Al : sables limoneux avec craie.
Age	Quaternaire.
Mode d'excavation	80% machines mécaniques conventionnelles, 20% ripper.
Capacité de drainage	Tronçons argileux : matériau imperméable. Tronçons sableux : matériau perméable.
Agressivité	Tronçons argileux : haute. Tronçons sableux : faible à moyenne.
Capacité portante	Tronçons argileux : faible < 10 faible densité de compactage Tronçons sableux : très haute > 20 faible densité de compactage
Classification UIC	Tronçons argileux : QS0. Tronçons sableux : QS1 (conditions hydrogéologiques favorables)
Réutilisation	60 % sol non utilisable. 40% sol marginal apte à l'utilisation.
Paramètres géotechniques	C = 0.1-0.5 kp/cm^2 ϕ = 22 -36° γd = 1.5-1.9 t/m^3 γh = 2.0 t/m^3

Tableau VII. 13: caractéristiques g géotechnique moyennes de la formation Ms.

Groupe lithologique	Ms : marnes gypsifères
Age	Tertiaire (miocène supérieur)
Mode d'excavation	40% machines mécaniques conventionnelles, 10% explosifs.
Capacité de drainage	Matériaux en général imperméables, vu la teneur en argiles et limons à haute plasticité.
Agressivité	Haute a très haute (emploi de béton résistant au sulfates).
Capacité portante	Faible à très faible < 5, densité faible < 1.75 t/m^3
Classification UIC	QS0 / QS1
Réutilisation	Sol non utilisable
Paramètres géotechniques	C = 0.2-0.5 kp/cm^2 ϕ = 15 -25° γd = 1.6-1.7 t/m^3 γh = 2.0 t/m^3

VII.6. Réutilisation des matériaux des déblais

Les matériaux identifiés sont des sables fins gypseux de faible densité sèche et la plupart présentent une teneur en gypse variant entre 7.21 à 45 %. A priori selon la norme UIC719f_194c, ces matériaux (les matériaux argileux ou sablonneux) ne sont pas réutilisables car ils comportent un taux de gypse non négligeable en plus on ne peut atteindre la compacité exigée par les prescriptions techniques. Ils ne sont pas donc réutilisables ni en couche de remblais ni en couche de forme

En ce qui concerne les sables fins même sans présence de gypse ne sont pas réutilisables en couche de remblai ou en couche de forme, car ils présentent des densités sèches maximales faibles.

VII.7. CONCLUSION

L'exécution des travaux in situ de la campagne géotechnique du projet ferroviaire Touggourt – Hassi Messaoud a fait ressortir des informations qui ont permis de faire une classification du sol selon GTR et l'UIC 719R, Les terrains rencontrés le long du tracé sont : sables, argiles gypseuses dont la majorité de classe (QS0/QS1).

- Du point de vue géotechnique, ces terrains possèdent une moyenne à bonne capacité portante.
- Chimiquement, ces terrains sont probablement agressifs vis-à-vis du béton de fondation.
- Du point de vue géologique la région du projet et tectoniquement stable avec des reliefs pratiquement plats.

Chapitre VIII :
ARMEMENT de la VOIE ET DIMENSIONNEMENT de COUCHE d'ASSISE

VIII. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE

VIII.1. INTRODUCTION

La superstructure de la voie est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristique physiques ou mécaniques différentes qui permettant la transmission à l'infrastructure, les charges statiques et dynamiques des roues.et d'assurer le bon guidage des véhicules à leur trajectoire.

Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la superstructure de la voie comporte deux files de barres en acier appelés « rails » dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des « traverses » qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast, les rails sont fixés sur les traverses par des « attaches », et pour permettre la ramification et la jonction et les changements des voies on introduit les « appareils de voie ».

La résistance de terrain naturel est généralement insuffisante pour supporter la superstructure de la voie avec les charges transmises par les traverses, si on pose la superstructure de la voie directement sur la plateforme elle va s'enfoncer plus ou moins dans le sol support. Aussi dans les zones où le sol est imperméable, les traverses baigneraient dans l'eau et les gelées détermineraient des soulèvements locaux des rails.

Pour éviter ces problèmes une structure d'assise d'une hauteur suffisante doit être interposé

VIII.2. Armement de la voie

VIII.2.1. Le Rail

Le rail utilisé est du type 60 E1 (60,21 kg/m) pour voie principale.

- Longueur minimum des barres élémentaires : de 18 à 36 m.
- Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur ≥ 288 m et soudure aluminothermique en voie.
- Écartement normale ; e = 1435mm.

- Pour les voies de service le rail est de type UIC 54.

Les caractéristiques de rail UIC 60 seront les suivantes (tableau VIII.1) :

Tableau VIII. 1: Les caractéristiques de rail utilisé dans le projet.

Géométrie	**Rail -60E 1**	Module d'inertie patin	**375,5 cm3**
Surface de la section	**76,70 cm2**	Dimension indicative A	**20,456 mm**
Masse par mètre	**60,21 kg/m**	Dimension indicative B	**52,053 mm**
Moment d'inertie « Axe X – X »	**3038,3 cm4**	Nuance	**260**
Moment d'inertie « Axe- Y-Y »	**512,3 cm4**	Module d'Inertie champignon	**333,6 cm3**

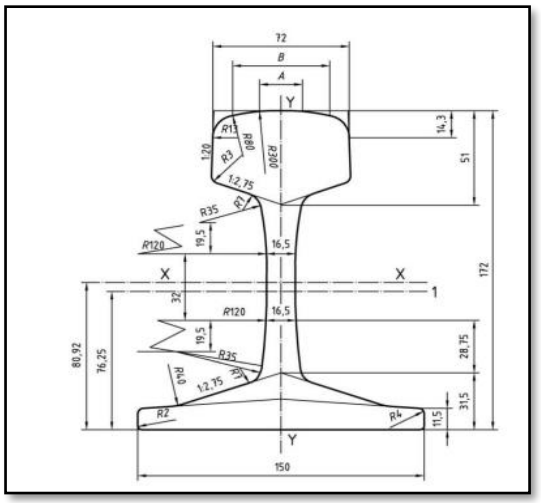


Figure VIII. 1: Profil et caractéristiques DU RAIL UIC 60 E1-(UIC 60).



Figure VIII. 2: Rail UIC 60 – E1 utilisé dans le projet.

VIII.2.2. Les traverses

- Les traverses du type monobloc en béton précontraint pour la pleine voie, sont posées à raison de 1666 unités au kilomètre.
- Les voies de service, des traverses bi-bloc de type VAX U31.

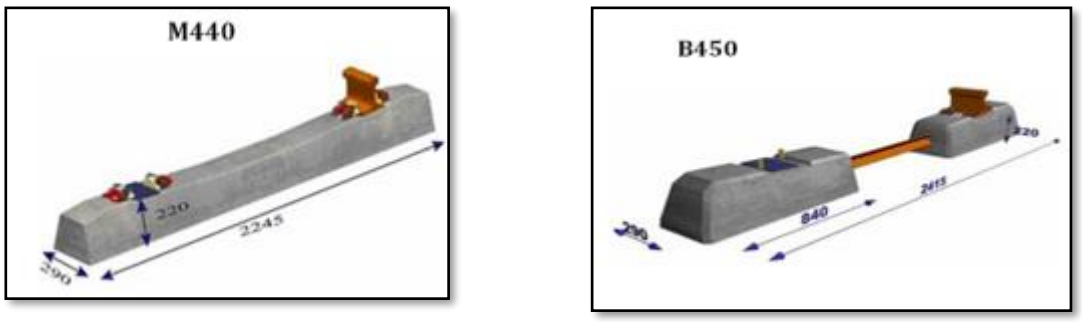


Figure VIII. 3: Les traverses utilisées dans le projet.

VIII.2.3. Les attaches

Il sera employé des attaches élastiques de type NABLA, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre rail et le traverse « semelle », et une Butée en plastique ; Pour assurer le maintien latéral du rail.



Figure VIII. 4: les attaches élastiques



Figure VIII. 5 : La semelle

VIII.2.4. Les appareils de voie

Dans cette étude on a choisi ;

- Appareil de voie simple de type UIC 60 1200 1/18.5 avec un R=1200m pour un branchement simple pour la déviation sur la voie existante et la nouvelle voie.
- Appareil de voie simple de type UIC 60 500 1/12. Dans la gare pour les voies principales et la voie de service.
- Appareil de voie UIC 54 300 1/9 pour la déviation de raccordement sur la ligne existante.

VIII.3. STRUCTURE D'ASSISE

Structure d'assise est l'infrastructure sur laquelle repose la voie. Elle sert à repartir sur la plateforme, les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations. De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie. Donc d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue de nivellement et drainage. (Figure VIII.6)

La couche d'assise comprend une

- Couche de ballast**.**
- Couche de sous ballast. } Sous
- Couche de fondation. } Couche
- Couche anti-contaminante.

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel).
- Des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- Des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses).
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses,).
- L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque l'on dimensionne la sous couche.

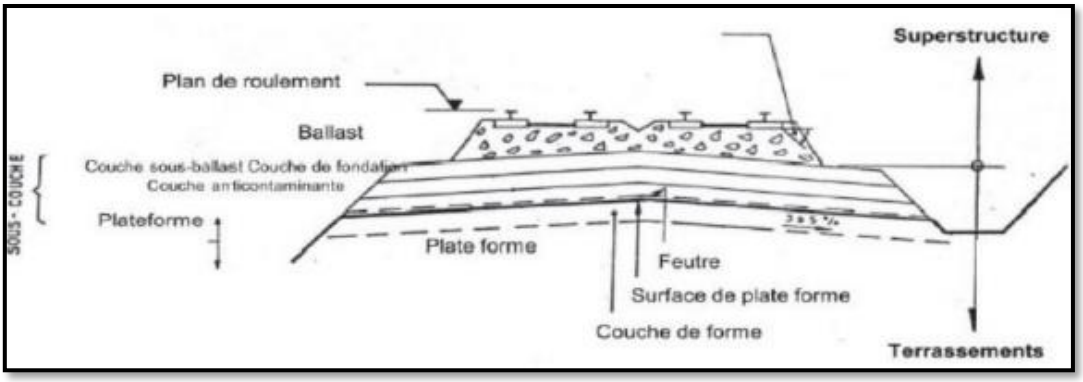


Figure VIII. 6: Couches d'assise avec plateforme.

VIII.4. CONSTRUCTION GENERALE

D'après la fiche « **UIC 719** » la construction de la structure d'assise en principe est constituée comme suit :

VIII.4.1. Couche d'assise

VIII.4.1.1. Couche de ballast

Selon la fiche UIC 719 le ballast est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure de la voie**.**

La couche de ballast est Composée de gravier d'une granulométrie grossière de **31.5/50mm** et une épaisseur **de 25 à 30 mm,** placé dans la partie supérieure des structures d'assises et entre les traverses. Provient de concassage des roches dures.

Le ballast doit avoir des qualités de haute résistance et d'usure.

Le ballast doit aussi présenter les caractéristiques mécaniques suivantes correspondant au ballast utilisé sur le réseau classique :

- Résistance à l'usure déterminée selon l'essai Micro-Deval : MDA ≤ 10,5.
- Résistance à la fragmentation par chocs déterminée selon l'essai Los Angeles : LA ≤ 25.
- La valeur LA + 2×MD ≤ 37.
- Le ballast utilisé doit être conforme à la norme NF EN 53-695.

VIII.4.1.2. Sous couche

C'est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme. Qui comprend les couches de « sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant (Elle est en sable propre et complétée si nécessaire par un géotextile) ». Elle a des rôles multiples ;

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Anticontamination entre plate -forme et ballast.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- L'évacuation des eaux.

VIII.4.1.3. Plate- forme

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous couche. La plate- forme est constituée de sol rapporté dans cas d'un remblai ou du sol en place en cas d'un déblai.

VIII.4.1.4. Couche de forme

La couche de forme est une couche particulière située entre la Partie Supérieure du Terrassement (PST). Elle permet notamment d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux qui constituent la PST (en remblai ou en du terrain en place) aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques, elle a plusieurs fonctions comme la stabilisation, la substitution, amélioration, drainage, etc.

VIII.5. Dimensionnement de la structure d'assise

VIII.5.1. Calcul les épaisseurs des couches de ballast et sous-ballast de pleine voie

Le dimensionnement des épaisseurs des couches de ballast et sous-couche a été fait suivant la norme UIC 719 R, qui montre l'épaisseur de ballast et sous-ballast requise pour une ligne ferroviaire. (Figure VIII.7)

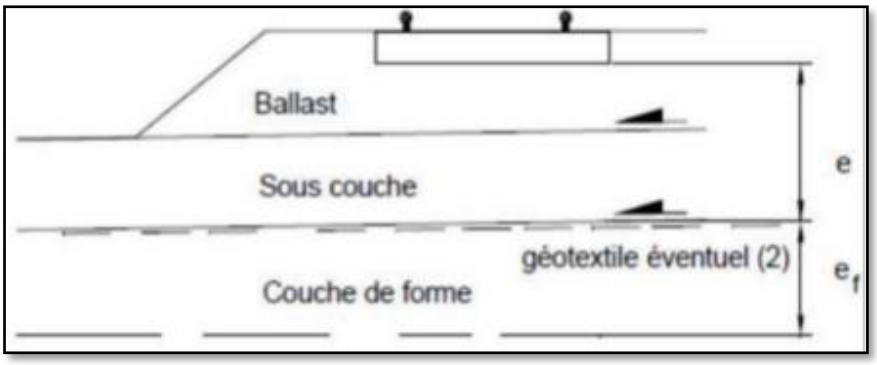


Figure VIII. 7: schéma illustrative qui montre les épaisseurs de couche d'assise.

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

$$e = E + a + b + c + d + f + g$$ **En (m)**

Avec :

- **Pour le cas du projet Touggourt-Hassi Messaoud :**
- La capacité portante de sol support envisagée est de classe P3. D'où **E=0.45 m.**
- La vitesse de la ligne est **220 km/h** supérieur à **160 km/h** donc **a= 0 m.**
- Pour notre projet les traverses utilisées sont les **traverses en béton** de **L = 2.245m**

  b = $\frac{2.50-L}{2} = \frac{2.50-2.245}{2} =$ **0.1275m** soit la valeur de b sera **b = 0.13 m**
- Le cas de dimensionnement normale donc le paramètre c aura une valeur **c = 0 m**.
- La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est fixée pour le projet en pleine voie à 200 KN, donc la valeur de facteur d est de. **d = 0.05 m.**
- Pour les plateformes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse, la valeur de f est nulle. **f = 0 m.**
- La qualité du sol support est QS1 si on considère la qualité de couche de forme est de QS3, alors le facteur g prend la valeur de 0 m. **g = 0m.**

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

Soit e = 0.63m = 65 cm.

- Une épaisseur de **30 cm pour le ballast** et **35 m pour la couche de sous-ballast** est retenue.

- Dans les zones inondables on doit faire une disposition de protection de plateforme contre la remontée d'eau donc la pose d'un géotextile plus des enrochements sur les talus.
  NB : un extrait de code UIC 719 est porté en annexe de présent chapitre.

VIII.5.2. Structure d'assise pour la boucle de raccordement

La voie est parcourue avec une vitesse de 80 km/h, la structure d'assise est de type bicouche

- Plateforme dans la zone de la boucle est de classe P2 E = 0.55m
- La voie est spécifique pour les marchandises moyennement lourdes donc selon le code UIC 174 on considère la voie est de groupe UIC 3- 4 ce qui donne à= -0.05m
- b = 0
- Pour un dimensionnement normal C = 0.
- La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN, d= 0.12m.
- Pour une plateforme de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse f = 0.05m
- La couche de forme est en sol QS3, d'où g=0 pas de géotextile dans ce cas.

D'où **e = 0.55 -0.05 + 0 + 0 + 0.12 + 0.05 + 0 = 067.m**

Soit e = 0.67 m = 67 m.

- Une épaisseur de **30 cm pour le ballast** et **20 cm pour la couche de sous-ballast** et 20 cm pour la couche de fondation est retenue.

VIII.6. Dimensionnement de la couche de forme

La capacité portante des plateformes dépend ; de la qualité du sol constituant le corps du remblai ou du sol en place en fond de déblai, ainsi que de la qualité et l'épaisseur de la couche de forme. On peut distinguer en fonction des paramètres ci-dessus, les trois classes de portance des plateformes suivantes :

- **P1** : plate-forme **médiocre.**
- **P2** : plate-forme **moyenne.**
- **P3** : plate-forme **bonne.**

En conséquent, l'épaisseur de la couche de forme dépendra du type de la qualité de sol support et de la classe de portance envisagée pour la plateforme (d'après la norme UIC 719R) :

Tableau VIII. 2: épaisseur de la couche de forme (UIC 719R).

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en ouvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale "e_f" en (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	-

D'où si on considère que la qualité du sol est QS1, d´après les caractéristiques géologiques et géotechniques, et que la capacité portance requise pour la plateforme est P3, il en résulte 0.50 m d´épaisseur pour la couche de forme. **e_f = 0.50 m = 50m.**

VIII.7. Structure d'assise retenue

Une voie ferrée est un composé des éléments répondant chacun à des normes précises selon la vitesse et autres paramètres. Le choix des éléments et les matériaux de la voie est une partie importante, qui influé à la fois sur la sécurité et l'économie.

Après l'étude géologique et géotechnique et les caractéristiques de la voie (traverses, charge d'essieu) j'arrive à dimensionnée le Profil type des couches d'assise dans le projet comme suit :

Tableau VIII. 3: les propriétés d'assise de la voie.

Couche	Épaisseur (pleine voie) (cm)	Épaisseur (boucle) (cm)	Matériau
Couche de ballast	30	30	GC (grave concassée) 31.5 /63 mm
Sous ballast	35	20	GC (grave concassée) 0/31.5 mm
Couche de forme / fondation	50	20	GNT

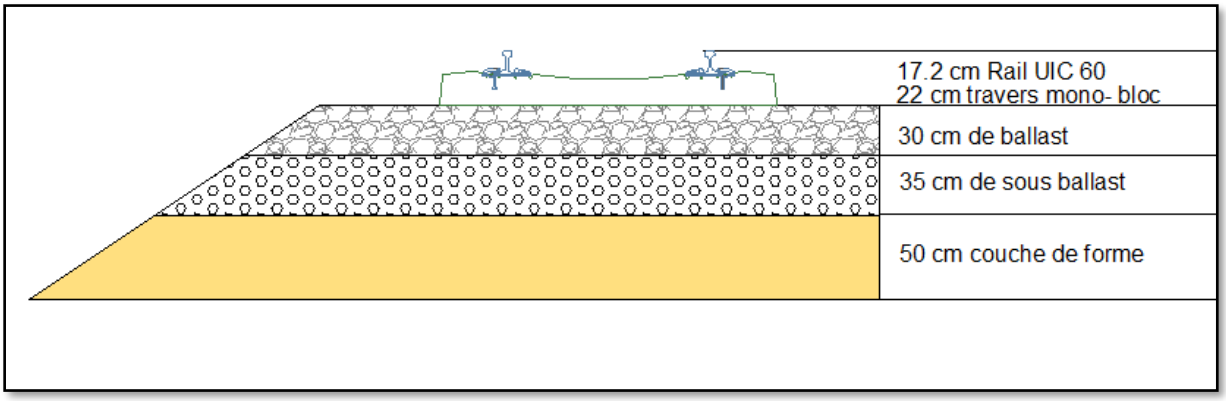


Figure VIII. 8: infrastructure superstructure type de projet.

Pour la boucle de raccordement les couches retenues pour les boucles de raccordement

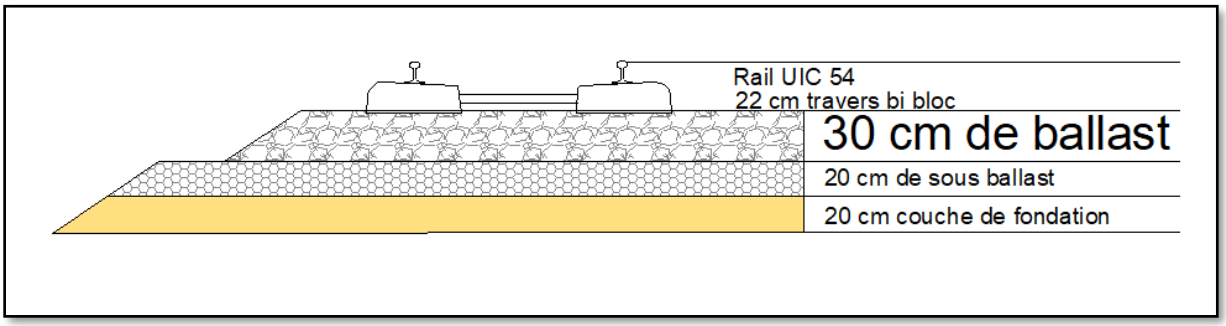


Figure VIII. 9: Infrastructure superstructure type de la boucle.

Chapitre IX :
ETUDE HYDRAULIQUE et ASSAINISSEMENT

IX. ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

IX.1. INTRODUCTION

Le tracé de ligne ferroviaire objet d'étude traverse un certain nombre de bassins versants hydrologiques, pour cette raison on doit protéger la plateforme contre les catastrophes susceptibles de se produire à cause des fortes intensités des inondations sur certains endroits de la voie ferrée qui présentent une topographie favorable à ces catastrophes.

Ce chapitre présente l'étude hydrologique et assainissement pour la ligne projetée dans le cadre de cette étude APD dont l'objectif principal était de fournir les éléments hydrologiques nécessaires à l'étude et détermination des ouvrages de drainage et de protection par

- Identification des bassins traversés par le tracé et leur délimitation.
- Détermination des débits de crues tout le long du tracé de la desserte ferroviaire nouvelle reliant les villes de Touggourt et de Hassi Messaoud sur le tronçon l'objet d'étude environ 13 km.
- Dimensionnement et localisation des ouvrages de drainage transversal nécessaires pour les débits calculés. On établira un nombre déterminé d'ouvrages de drainage type qui seront utilisés le long de tout le tracé.
- Dimensionnement du drainage longitudinal : les fossés**.**

IX.2. PRESENTATION GENERALE ET DESCRIPTION DU CONTEXE HYDROLOGIQUE

IX.2.1. Situation géographique de la zone d'étude

Les bassins versants hydrologiques interceptés appartiennent aux Bassins du Sahara et plus précisément au Bassin du grand Erg oriental. (Figure IX.1)

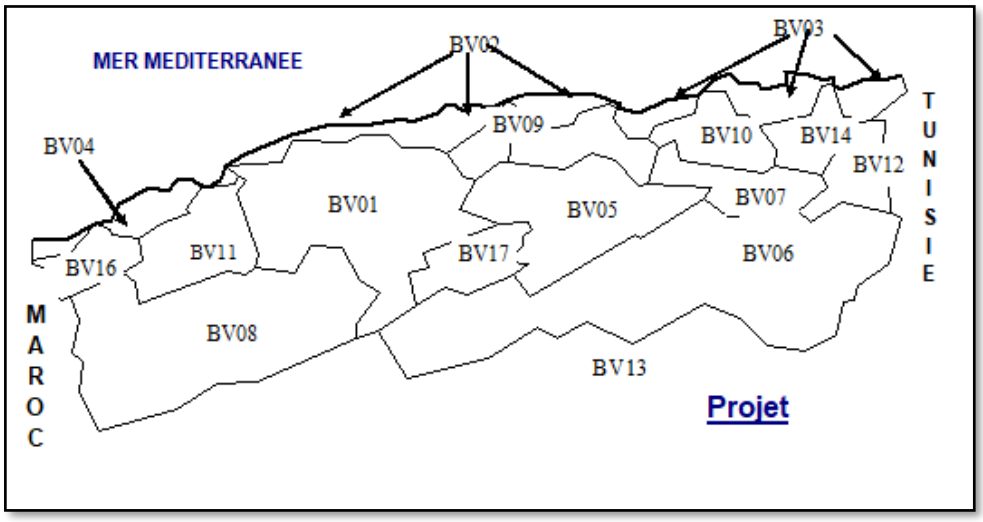


Figure IX. 1: Situation géographique du projet.

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

Ce dernier appartient à l'unité hydrogéologique du Sahara Septentrionale sur une superficie de 720 000 Km² et dont une grande partie est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km². Les exutoires naturels de ce bassin ont donné naissance à des oasis bien connus, telles que l'oasis de Touggourt (Figure IX.2) qui concerne la partie nord de notre région d'étude plus précisément la région de l'oued Righ.

L'oued Righ constitue une grande dépression topographique constitué de dépôt de sable argileux, sur laquelle s'étale l'oasis de Touggourt, qui est caractérisée par un climat aride avec de faible précipitation, et des vents de dominance et une température élevée.

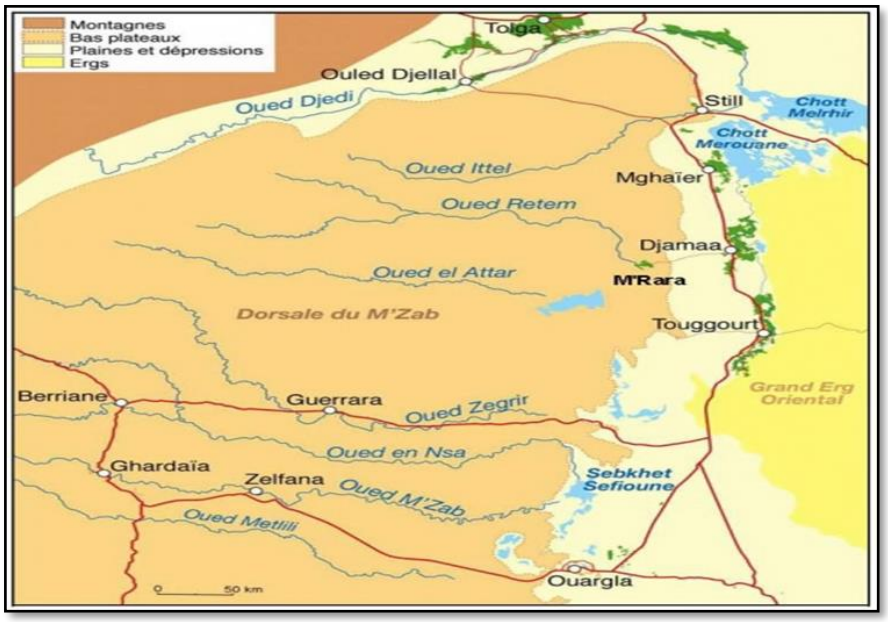


Figure IX. 2 : Situation de l'oasis de Touggourt.



Figure IX. 3 : Ouad Righ

Le terrain de cette région est pratiquement plat, avec une dénivellation très faible, ce qui justifie l'endoréisme de ses cours d'eau qui les amène à des dépressions fermées où l'eau se perd par infiltration ou par évaporation. En effet, les différents écoulements rejoignent le cours d'eau principal, l'oued Righ, qui lui-même draine le Chott Merouane.

IX.3. CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE

La région est caractérisée par un climat très chaud en été (souvent plus de 40°) et très froid en hiver En hiver, il gèle presque partout, Il existe donc de grands écarts de température entre l'hiver et l'été. Les vents de sable sont fréquents et violents. Les précipitations annuelles moyennes de la région sont faibles et irrégulières.

IX.3.1. Température

Tableau IX. 1: Températures moyennes mensuelles.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
T_{moy} (°c)	10	12.6	16	20.6	25	30.3	33.3	32.2	28.5	22	15.6	10.8	21.4

- La température moyenne annuelles est de 21.4°.
- Les mois les plus chauds correspondent à juin, juillet et août « la température moyenne est supérieure à 30°C ». Les mois les plus froids sont enregistrés de décembre à février.

Le gradient de température moyenne du mois le plus froid au mois le plus chaud varie de 10°C à 33.3°C.

IX.3.2. Vitesse du Vent

Tableau IX. 2: Vitesse du vent mensuelles en m/s.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse(m/s)	**2.9**	**3.4**	**4**	**4.7**	**4.2**	**4.4**	**3.5**	**3.5**	**3.2**	**2.8**	**2.5**	**2.8**

Les vitesses du vent sont relativement fortes elles varient de 2.5 à 4.7 m/s, le mois d'avril enregistre en moyenne les vents les plus forts**.**

IX.3.3. Pluviométrie

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM). On va travaillé sur la station de Touggourt qui est la plus proche et la plus représentative du tronçon étudié.

IX.3.4. Pluies annuelles

L'ajustement à une loi Log-normale des pluies annuelles des stations de la région montre que la distribution statistique présente un caractère nettement symétrique.

Tableau IX. 3: ajustement à une loi log-normale des pluies annuelles.

Période de retour (ans)	10	20	50	100
Fréquence $f = (1-\frac{1}{T})$	**0.9**	**0.95**	**0.98**	**0.99**
Variable de Gauss U	**1.282**	**1.645**	**2.054**	**2.327**
Pluie annuelle en (mm)	**110.6**	**136.8**	**173.8**	**203.8**

IX.3.5. Précipitations mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles représentées par le tableau traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle.
La station prise en considération dans la région d'étude, fait ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre relativement humide.

Tableau IX. 4: Répartition mensuelle des précipitations, station de la région.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P en mm	1.0	5.0	8.9	7.3	5.6	3.1	4.5	4.5	1.5	1.1	0.1	0.5
P en %	2.3	11.5	20.7	17.1	13.1	7.2	10.4	10.5	3.4	2.6	0.1	1.1

On remarque l'existence d'une saison sèche qui correspond aux mois de Mai à Septembre, avec des pluies moyennes mensuelles égales ou inférieures à 2 mm et une saison qui correspond aux autres mois ou nous enregistrons en moyenne des pluies mensuelles variant de 3 à 9 mm.
La répartition des pluies mensuelle en % nous montre de façon distincte que les mois les plus pluvieux correspondent à octobre, novembre, décembre et janvier ces quatre mois accaparent à eux seuls plus de 60% des précipitations annuelles. Par contre les mois d'été sont largement déficitaires avec moins de 4% du total annuel pour chaque mois.

IX.3.6. Les pluies maximales journalières

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

Tableau IX. 5: pluies maximales journalières.

Période de routeur	**Fréquence**	**U. Gumbel**	**$P_{max,\ j}$ (mm)**
10 ans	0.90	2.25	27.4
50 ans	0.98	3.902	38.3
100 ans	0.99	4.6	52.9

IX.4. Les Zones inondables

Ce sont des zones oû la nappe d'eau est trés proche de la surface du terrain naturel avec présence d'ecoulements importants ou des zones de stagnation des eaux ce qui a un effet direct sur la fondation des remblais nécéssitant des mesures particulières.
Dans le long de tracé ona rencontré deux zones inondable comme illustré dans les figures

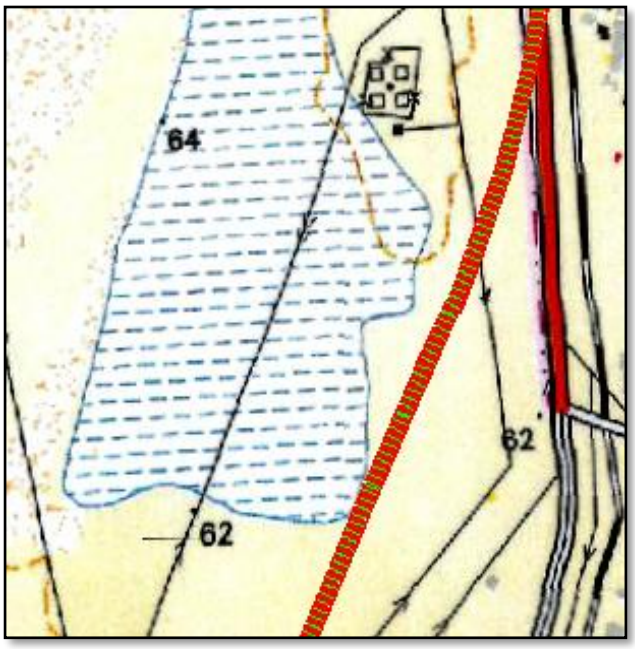


Figure IX. 4: zone inondable du Pk 2+225 au Pk 2+425

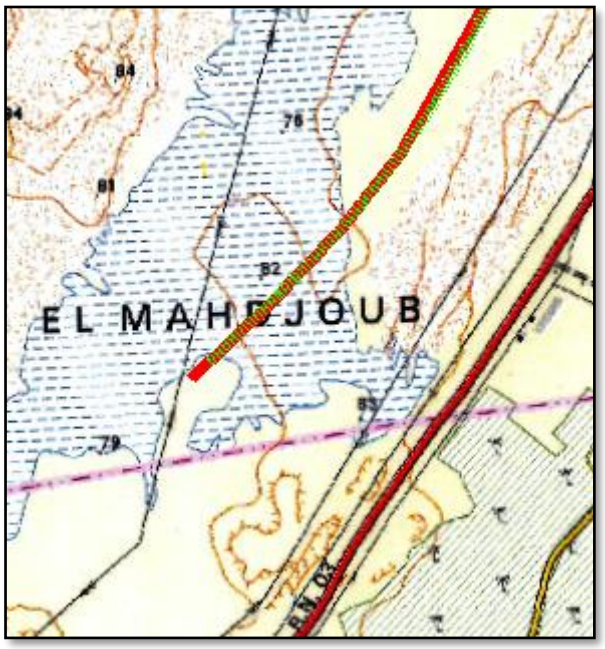


Figure IX. 5: zone inondable du Pk 11 +375 au Pk 12 +375

Il est prévu des tranchées assurant la collecte d'eau sous plate-forme ou dans les talus. Ces ouvrages doivent assurer une continuité hydraulique entre les terrains et le système de drainage,

- La stabilité des ouvrages en assurant leur drainage,
- Rabattre des nappes et en collecte les eaux.
- Les tranchées drainantes s'appliquent en particulier pour le drainage longitudinal et sous plate-forme. La protection du matériau drainant contre le colmatage par les fines du terrain en place sera assurée par l'utilisation d'un matériau à granulométrie continue au contact du terrain en place.
- Un géotextile sera interposé entre le matériau drainant et le terrain en place.
- Les matériaux constitutifs des tranchées drainantes ne doivent pas contenir de matériaux polluants ou évolutifs.

Ces solutions permettent d'améliorer les caractéristiques de drainage,et augmenter la capacité de support des terrains de fondation des remblais.

IX.5. BASSINS VERSANTS

IX.5.1. La délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins versants s'est effectuer sur cartes d'état majors au 1/50 000 en suivant les lignes de partages des eaux selon l'orientation des courbes de niveaux. L'axe du tracé représente autre limite du bassin versant. (Figure IX.6)
La densité de drainage est visiblement faible sur le long du tracé.

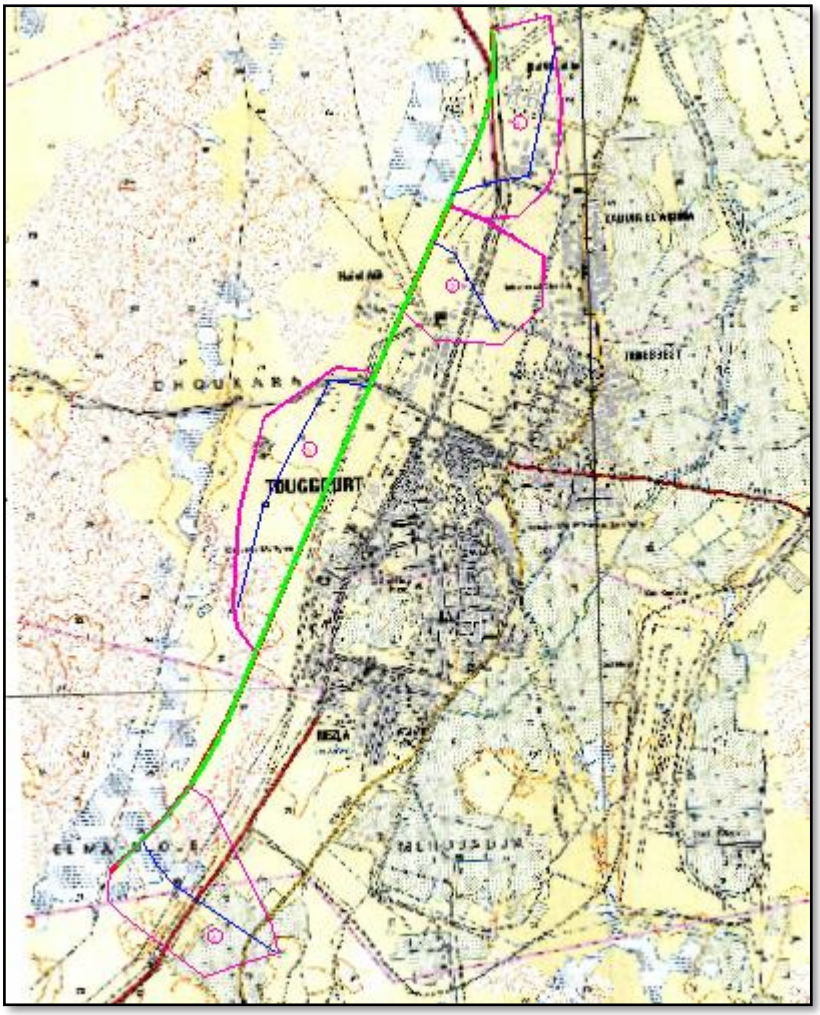


Figure IX. 6: délimitation des bassins versants.

Selon la carte d'état majors le tronçon objet de l'étude de PK 0+000 a PK 12+000 traverse quatre bassins versants : **BV 1** – **BV4**

IX.5.2. Les caractéristiques des bassins versants

Une fois que les bassins sont identifiés, on calcule le débit apporté par chacun d'eux. Les principaux paramètres qu'on doit identifier pour la modélisation des bassins sont :

- S (km^2) : La surface du bassin versant.
- P (km) : Périmètre.
- L (km) : Longueur de talweg.
- H_{max} (m) : L'altitude max.

- H_{min} (m) : L'altitude min.

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

- $H_{moy\,(m)}$: L'altitude moyenne (m), avec $\mathbf{H_{moy}} = \frac{\mathbf{H_{max}+ H_{min}}}{\mathbf{2}}$
- L'indice de compacité de GRAVELIUS « K_c » ; $\mathbf{K_c}= \mathbf{0.28}\frac{P}{\sqrt{A}}$ (caractérise la forme du BV).
- La pente moyenne (m/m) ; $\mathbf{I(m/m)} = \frac{\Delta \mathbf{H}}{\mathbf{L}}$
- Le temps de concentration (heure).
- Le coefficient de ruissellement.
- La vitesse de ruissellement (km/h).

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

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

BV	PK	S(km^2)	P (Km)	L(km)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy}(m)	I (%)	K_c
01	**0+925**	**2.62**	**7.11**	**2.75**	**66**	**62**	**64**	**0.14**	**1.23**
02	**2+555**	**2.63**	**6.23**	**2.4**	**68**	**62**	**65**	**0.25**	**1.07**
03	**8+850**	**3.23**	**9.09**	**3.8**	**84**	**74**	**79**	**0.26**	**1.41**
04	**11+800**	**3.21**	**6.61**	**2.36**	**85**	**83**	**84**	**0.084**	**1.03**

IX.6. CALCUL HYDRAULIQUE

IX.6.1. Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol en descendant du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

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

Formule de VENTURA **(S < 5Km²)** :

$$\mathbf{t_c = 0.1272}\sqrt{\frac{\mathbf{S}}{\mathbf{I}}}$$

Formule de PASSINI **(5 Km² < A < 25 Km²)** :

$$\mathbf{t_c = 0.11}\ \frac{\sqrt[3]{\mathbf{S \times L}}}{\sqrt{\mathbf{I}}}$$

Formule de GIANDOTTI **(25 Km² < A < 200 Km²)** :

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

Tel que :

- Tc : temps de concentration en (h).
- S : surface du bassin versant (km^2).

- I : pente brute du bassin en (m/m).
- L : longueur de cours d'eau principal en (km).
- H_{moy} : l'altitude moyenne du bassin versant en (m).
- H_{min} : l'altitude min du bassin versant en (m).

IX.6.2. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement « C_r » est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels, $C_r = C\,1 + C2 + C3$

Tableau IX. 7: coefficients partiels du coefficient de ruissellement.

Coefficient partiel	Valeur			
C1 dépendant de la pente du bassin versant	I ≤ 3.5%	0.01	0.03	0.05
	3.5% ≤ I ≤ 11%	0.06	0.08	0.10
	11% ≤ I ≤ 35%	0.12	0.16	0.20
	I ≥ 35%	0.22	0.26	0.30
C2 dépendant de la nature du sol (perméabilité).	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
C3 dépendant de la couverture végétale du bassin versant	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

- Les cinq bassins ont une pente inférieure à 3.5% (I <3.5%), La valeur de C1 est value C1= 0.05
- La valeur de C2 est 0,10 qui est associée à un sol peu perméable et est considéré constante pour toute la région.
- La valeur de C3 vaut 0,05 correspondant à des forêts et territoire sableux.

C = 0.05+0.1+0.05 = 0.2 D'où C = 0.2

IX.6.3. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue)

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements, on utilisera les formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.
Un grand nombre de méthodes sont valables et ne donnent qu'une estimation relative de la grandeur de la crue.

IX.6.3.1. La méthode rationnelle

Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à 10 km² a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$\mathbf{Q = 0.278 \times C \times i \times S}$$

Tel que :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en (m^3/s).

C : Coefficient de ruissellement.

S : Surface du bassin versant en (km^2).

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

Avec $\mathbf{i = \frac{P(t)}{tc}}$ en (mm/h).

IX.6.3.2. La méthode CRUPEDIX (1980-1982)

Permet l'estimation du débit centennal à partir du débit décennal (Q_{10}). La formulation ci-après a été obtenue par une analyse statistique de 630 bassins versants de moins de **100 km².**

$$\mathbf{Q_{100} = Q_{10}}$$

$$\mathbf{Q_{10} = R \times \left(\frac{P_{jmax(10)}}{80}\right)^2 \times S^{0.8}}$$

$$\mathbf{Q_T = Q_{10} + \Delta Q \left(\frac{Y}{2.3} - 1\right)}$$

Avec : $\mathbf{1{,}4 \leq b' \leq 4}$

Q_{10} : débit décennal en (m^3/s).

R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement.

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

P_{jmax10} : pluie journalière max de période de retour décennale, en (mm).

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV en Km².

$\Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$

Le paramètre b' est dépendant de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 Km^2, b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q_{10} et Q_{100} comme si la formule rationnelle était applicable) tel que : **($b' = Q_{R(100)} / Q_{R(10)}$).**

La pluie $P_{p, tc}$ peut être calculée par la formule de Montana :

$$\mathbf{P_{p,\,tc} = 1.13 \times P_{max\ j} \times \left(\frac{t}{24}\right)^b}$$

$P_{max\ j}$: pluies maximales journalières

b : paramètre climatique de la station (exposant climatique). Pour le projet **b = 0.14.**

IX.6.3.3. La Formule de transition (1 km² < A < 10 km²)

$$Q_T = \alpha Q_{RT} + \beta Q_{CT}$$

Tel que :

- Q_T : débit de projet de période de retour T.
- Q_{RT} : débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T.
- Q_{CT} : débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T.
- α, β : coefficients de pondération.

α = (10 - S) /9 , et β= 1 - α

IX.7. Application sur le projet

IX.7.1. Exemple de calcul de temps de concentration

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

$$\mathbf{T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{I}}}$$

Pour BV1 :

S = 2.62 km² et I = 0.14% ⟶ Tc = 0.1272 $\sqrt{\frac{2.62}{0.0014}}$ **= 5.50 h.**

Les résultats de calcul des temps de concentration récapituler dans le (tableau IX.8).

IX.7.2. Calcul des débits de projet par les différentes méthodes :

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

- **Méthode rationnelle**

Q = 0.278 ×C× S ×i

Tel que ; i = $\frac{P(t)}{Tc}$ (mm/h). Et P(tc) = 1.13×$P_{max.j}$× $(\frac{t}{24})^{0.14}$ = 1.13×52.9 × $(\frac{5.50}{24})^{0.14}$ = 48.63 mm

i = $\frac{48.63}{5.50}$ = 8.84 (mm/h). D'où **Q_r = 0.278× 0.2 ×2.62 ×8.84 = 1.28 m³/s**.

- **Méthode CRUPEDIX**

$Q_{100} = Q_{10} \times b'$

$Q_{10} = R \times (\frac{P_{jmax(10)}}{80})^2 \times S^{0.8} = 1 \times (\frac{27.4}{80})^2 \times 2.62 = 0.253$ m³/s.

b' = $\frac{1.288}{0.667}$ = 1.931 Alors **Q_{100} = 1.931 × 0.253 = 0.488 m³/s.**

- **Formule de transition**

Avec α = (10- 2.62) /9 = 0.82, et β = 1-0.82 = 0.18

$Q_T = \alpha Q_{RT} + \beta Q_{CT}$ = 0.82 ×1.28 + 0.18 ×0.488 = **1.137 m³/s.**

D'où les débits retenus sont ceux de la méthodes Rationnelle pour une S < 5km²

Les résultats de calculs sont récapitulés dans le (Tableau IX.9).

Tableau IX. 8: Tableau récapitulatif des paramètres hydrauliques des bassins versants pour les trois périodes de retour.

BV	Tc (h)	P(t) (mm)			I(t) (mm/h)		
		10	50	100	10	50	100
01	5.50	25,19127849	35,2126265	48,63571649	4,580232452	6,402295727	8,842857544
02	4.12	24,19273914	33,816858	46,70787959	5,872024064	8,207975243	11,33686398
03	4.48	24,47813662	34,21578951	47,25888421	5,463869782	7,637453016	10,54885808
04	7.86	26,48247609	37,01747571	51,12857611	3,369271768	4,709602507	6,504907902

Tableau IX. 9: Tableau récapitulatif des débits max des écoulements qui traversent le tracé pour des périodes de retour 10ans, 50ans, 100ans.

BV	PK	Rationnelle			CRUPEDIX			Transition			Débit retenu		
		Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
01	0+925	0,66721	0,93263	1,28815	0,25349	0,41780	0,48940	0.59274	0.83996	1.1379	0,66721	0,93263	1,28815
02	2+555	0,85865	1,20023	1,65776	0,254264	0,41908	0,49089	0.74839	1.05764	1.44489	0,85865	1,20023	1,65776
03	8+850	0,98124	1,37159	1,89444	0,299697	0,49396	0,57861	0.81191	1.15344	1.56753	0,98124	1,37159	1,89444
04	11+800	0,60133	0,84055	1,16096	0,298212	0,49151	0,57574	0.59445	0.70683	1.01642	0,60133	0,84055	1,16096

IX.8. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place des ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.
Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.
Le dimensionnement est fondé sur l'application de la formule de MANNING STRICKLER.

IX.8.1. Méthode de MANNING STRICKLER

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

$$Q_S = V \times S_u \quad \text{Avec} \quad V = K_{St}\, J^{1/2}\, Rh^{2/3}$$

$$Q_S = K_{St}\, J^{1/2}\, Rh^{2/3}\, S_u$$

K_{St} : Coefficient de rugosité.
J : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
Rh : Rayon hydraulique en (m).
S_u : Section utile de l'ouvrage en (m^2).
Le tirant d'air (hauteur libre entre la ligne d'eau et l'intrados de l'ouvrage) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détritus, branchages, etc.… qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (buses, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.
NB : dans cette étude on a dimensionné avec le débit centennal pour les ouvrages transversaux et débit cinquantennale pour les ouvrages longitudinaux.

IX.8.2. Vérification des condition auto curage

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :

- 1ere condition : pour Rq =Q /Qps= 0.1 il faut V >0.6 m/s.
- 2ème condition : pour Rq= Q/Qps= 0.01 il faut V >0.3 m/s.

IX.9. Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal

IX.9.1. Dimensionnement des buses

On prend l'écoulement au Pk 8+850 qui corresponde à BV 03, dont le débit Q_{100} = 1.89 m^3/s.

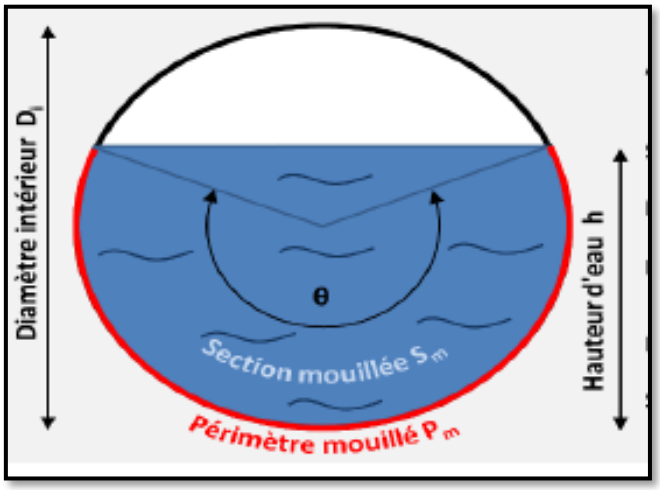


Figure IX. 7: Dimensions d'une buse.

Soit une buse de Ø = 1500 mm.

H_r : la hauteur de remplissage., H_r = 0.75 Ø = 1.125m.

D'où S_u = 1.4217 m^2

- Une pente de I = 0.5 %.
- Buse en béton : Kst = 70.

1- Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :

$$\mathbf{Qps = K_{St}\, J^{1/2}\ Rh^{2/3}\ S_u} = 70 \times 0.005^{0.5} \times \left(\frac{1.4217}{4.446}\right)^{2/3} \times 1.4217 = \mathbf{3.29\ m^3/s > Q_{100} = 1.89\ m^3/s.}$$

2- Vérification des condition auto curage :

- 1ere condition : pour Q /Qps =0.1 il faut $V_{écoulement}$ > 0.6 m/s.

Rq= Q /Qps= 0.1 ⟶ Rv = V/Vps = 0.64 => V= 0.64× 2.31= 1.48 > 0.6m/s.

- 2ème condition : pour Q/Qps=Rq= 0.01 il faut $V_{écoulement}$ > 0.3 m/s.

Q/Qps = 0.01 ⟶ Rv = V/Vps = 0.32 => V= 0.32× 2.31 = 0.74 > 0.3m/s.

Les conditions auto curage sont vérifiées.
Et Qs > Q_{100}

D'où on opte pour une buse de Ø =1500 mm. Avec une pente de 0.5%. Pour le BV03. Et avec même méthode de calcul en détermine les ouvrages hydrauliques transversaux adaptés pour chaque bassin.

IX.10. Résultats de calcul hydraulique

Avec même procédure de calcul et vérification on obtient :

Tableau IX. 10: Listing des ouvrages de drainage transversal projetés.

BV	PK	Q_{100} (m^3/S)	Ouvrage projeté	Pente l'OH (m/m)	S_U (m^2)	P_U (m)	R_h (m)	Qp_S (m^3/s)	V (m/s)	Condition auto curage	V< 4 (m/s)
01	0+925	1,28815	Ø 1200	0.005	0.91	3.55	0.26	1.81	1.41	Vérifié	Vérifié
02	2+555	1,65776	Ø 1500	0.005	1.42	4.45	0.32	3.29	1.15	Vérifié	Vérifié
03	8+850	1,89444	Ø 1500	0.005	1.42	4.45	0.32	3.29	1.33	Vérifié	Vérifié
04	11+800	1,16096	Ø 1200	0.005	0.91	3.55	0.26	1.81	1.27	Vérifié	Vérifié

- **En raison de l'ensablement et la vitesse des vents on propose de remplacer les buses par des dalot de (1.5×1.5).**
- Et pour confirmation ; Vérification que début de dalot (1.5× 1.5) est supérieur que débit des basins versant.

Avec :

Hr= 0.75 h. = 0.75 ×1.5 = **1.125m**.

Rh = $\frac{Su}{P} = \frac{0.75\times1.5\times1.5}{(3.75)}$ **= 0.45 m.**

$Qp_S = K_{St}\, J^{1/2}\, Rh^{2/3}\, S_u$ = $70 \times 0.005^{0.5} \times (0.45)^{2/3} \times 1.68$= **4.9 m^3/s > $Q_{100\ max}$ = 1.89 m^3/s.**

Les conditions d'auto curage sont vérifiés ;

- 1ere condition : pour Q /Qps =0.1 il faut $V_{écoulement}$ > 0.6 m/s.
  Rq= Q /Qps= 0.1 ⟶ Rv = V/Vps = 0.64 => V= 0.64×2.90 = 1.85 > 0.6m/s.
- 2ème condition : pour Q/Qps=Rq= 0.01 il faut $V_{écoulement}$ > 0.3 m/s.
  Rq= Q/Qps = 0.01 ⟶ Rv = V/Vps = 0.32 => V= 0.32× 2.90 = 0.92 > 0.3m/s.

D'où pour les quatre bassins versant on opte pour des **dalots des dimension (1.5 ×1.5).**

IX.11. Assainissement longitudinal

Les ouvrages longitudinaux sont des ouvrages techniques permettant la collecte ainsi que le conduire et l'évacuation et drainage des eaux de ruissellement d'une part et d'autre de la plateforme ferroviaire et les talus ainsi que les eaux internes.
Ainsi, on adopte pour une conception générale du système de drainage longitudinal :

- Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme ;
- L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité, sans avoir recours à des stations de pompage qui impliqueraient des coûts d'investissement initial et d'entretien du système plus coûteux.
- Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

IX.11.1. Dimensionnement des fossés

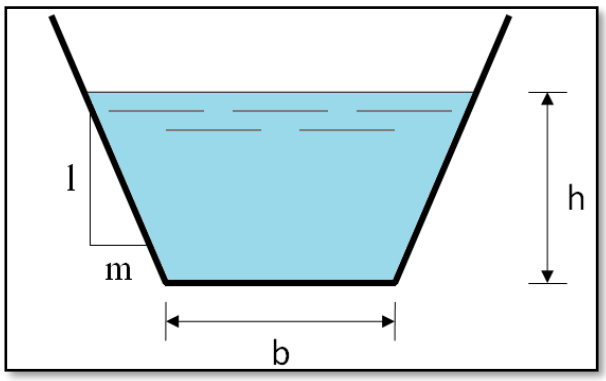


Figure IX. 8: Coupe schématique d'un fossé trapézoïdale.

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

$$\mathbf{Q_S = K_{St}\, J^{1/2}\ Rh^{2/3}\ S_u}$$

Où :

- La surface mouillée : $S_u = (b + m\times h)\, h$. Avec $m = \frac{1}{tan\alpha}$
- Le périmètre mouillé : $P_u = b+2h\sqrt{1+m^2}$.
- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale.
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation Qs=Qapport.

$$\mathbf{Q_S = k_S \times I^{1/2} \times [(b+m\times h)\times h]\times \left[\frac{(b+m\times h)\times h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}\right]^{2/3}}$$

On fixe la base (b) et la pente (z), ensuite par le calcul itératif on déduit la hauteur (h).

IX.11.2. Application sur le projet

IX.11.2.1. Calcul des débits d'apport

Le choix de type de fossé est en fonction débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : $Q_{apport} = Q_{pf} + Q_b + Q_t$.

- Dans le cas de projet les hauteurs des déblais et remblais sont inferieur à 8m. dans ce cas y'a pas des bermes $Q_b = 0$. D'où les fossés seront dimensionnés avec débit rapporté par la plate-forme et les talus $Q_{apport} = Q_{pf} + Q_t$.

Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle. Le débit utilisé correspond à une période de retour de 50 ans.

Tableau IX. 11: débit apport cas déblai.

		Cas déblai gauche H_{max} = 2 m Longueur = 410m
Plate-forme	C	0.90
	P (m /m)	0.04
	$S_m(km^2)$	0.003079
	Tc(h)	0.029
	I (mm/h)	584
	$Q(m^3/s)$	0.32
Talus	C	0.7
	P (m /m)	0.32
	$S_m(km^2)$	0.00293
	Tc(h)	0.011
	I (mm/h)	1343
	$Q(m^3/s)$	0.66
Qa (m^3/s)		0.32+0.66 = 0.98 ≈ 1

IX.11.2.2. Dimensionnement des fossés

Cas de déblai

Qa = 1 m^3 /s , On prend :

- Ks = 70.
- P = 0.00266 m/m, représente la pente de la ligne rouge sur le profil en long.
- b = 50 cm.

Avec le calcul itératif on trouve les dimensions suivantes : h = 50 cm avec tanα = 1

Pour l'intégralité du tracé on opte pour un seul type de fossé suivant :

- Fossé trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5 m) en béton armé dans le tronçon la gare
- Pour la pleine voie : Fossé en terre avec b= 3ma raison de l'ensablement.

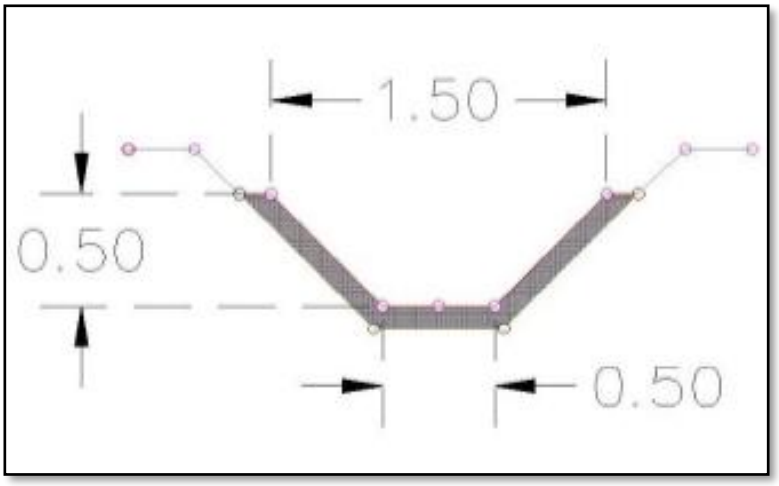


Figure IX. 9: Le fossé adopté pour la gare.

IX.12. Conclusion

Dans un projet linaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie.

D'après l'étude précédente présentée dans ce chapitre avec les spécifications de la région on obtient les ouvrages de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne

- 4 dalots de (1.5 ×1.5).
- Fossé de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5 m) en béton armé dans le tronçon de la gare et un fossé en terre de 3m de largeur le long de la voie.

Chapitre X :
PROFIL
en TRAVERS

X. PROFIL EN TRAVERS

X.1. INTRODUCTION

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, Il précise les dévers appliqués à la voie, il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement donc il permet de visualiser :

- Les différentes couches constituants l'assise ferroviaire.
- Les gabarits, entraxes et clôtures.
- Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

Il permet de calculer les paramètres suivants :

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

Un projet de voies ferrées comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers. Pour éviter de rapporter sur chacun d'eux les dimensions générales qui se répètent et des détails constructifs communs, on établit tout d'abord un profil unique appelé « **profil en travers type**». Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, et autre bandes, dimensions des couches de la superstructure)
Donc on distingue deux types de profil :

X.2. Profil en travers types

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs. Pentes des surfaces et talus, système d'évacuation des eaux etc. (Figure X.1)

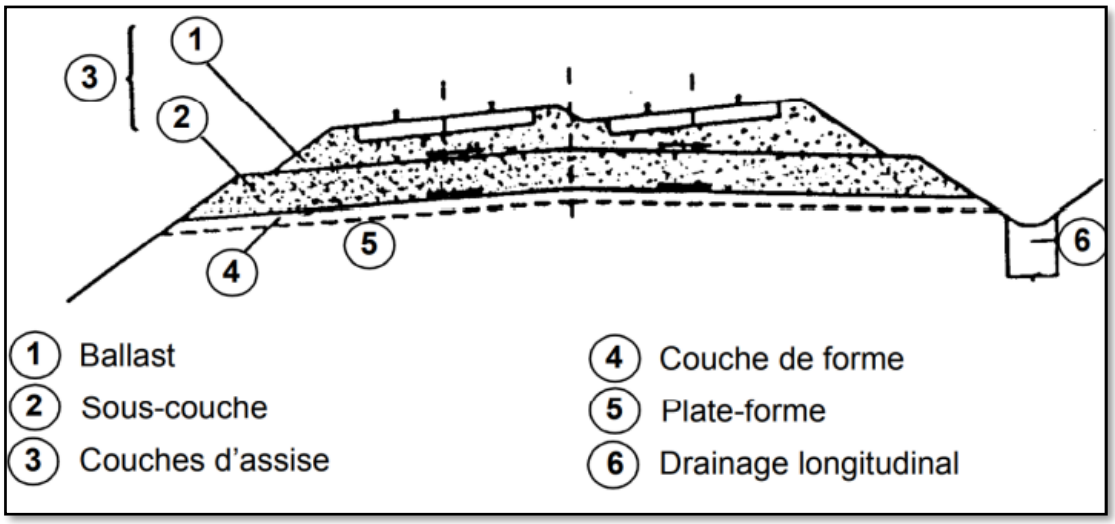


Figure X. 1 : profil en travers types (double voie).

Le profil en travers est composé ordinairement selon la position de la plateforme par rapport au terrain de deux demis - profil juxtaposé : l'un « en remblai » l'autre « en déblai ».

X.3. Profil en travers courant

Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment côte terrain naturel, côte de projet, Dévers de la plate-forme.

X.4. LES ELEMENTS DE PROFIL EN TRAVERS

Les éléments du profil en travers

- **La plate-forme :** C'est l'élément sur laquelle repose la voie elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.
- **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **L'emprise :** C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** Elle supporte d'éventuels panneaux de signalisation et équipements. Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **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. Ce sont des excavations aménagées latéralement de part et d'autre de la plate-forme.

X.5. CONSTITUANTS DE PROFIL EN TRAVERS

Dans un profil en travers doit contenir tous les éléments dans le tableau suivant :

Tableau X. 1: Les constituants de profil en travers.

Élément de superstructure	Le type de rails utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie. Le type de traverses utilisé. L'épaisseur de la couche de ballast. La longueur des butées du ballast. Poteaux caténaires et caniveaux à câbles. La pente latérale de la -couche de ballast.
Élément d'infrastructure	Les épaisseurs, les pentes et le nom de chaque couche. La pente latérale de la plateforme.
Élément de talus	La pente de chaque talus. Les ouvrages de consolidation éventuels. Éléments d'assainissement.

X.6. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

X.6.1. Pleine voie

- Type de ligne : voie unique mixte électrifié
- Ecartement de la voie de 1435mm.
- La voie repose sur une plateforme de 8 m de largeur.
- La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- Les talus de déblais et de remblais 3H/1V en pente.
- Epaisseur du ballast 30cm.
- Epaisseur de la sous-couche 35cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 50cm.
- Distance de support par rapport à la voie (à l'axe de rail a coté) : 2.25 m. pour la voie principale.

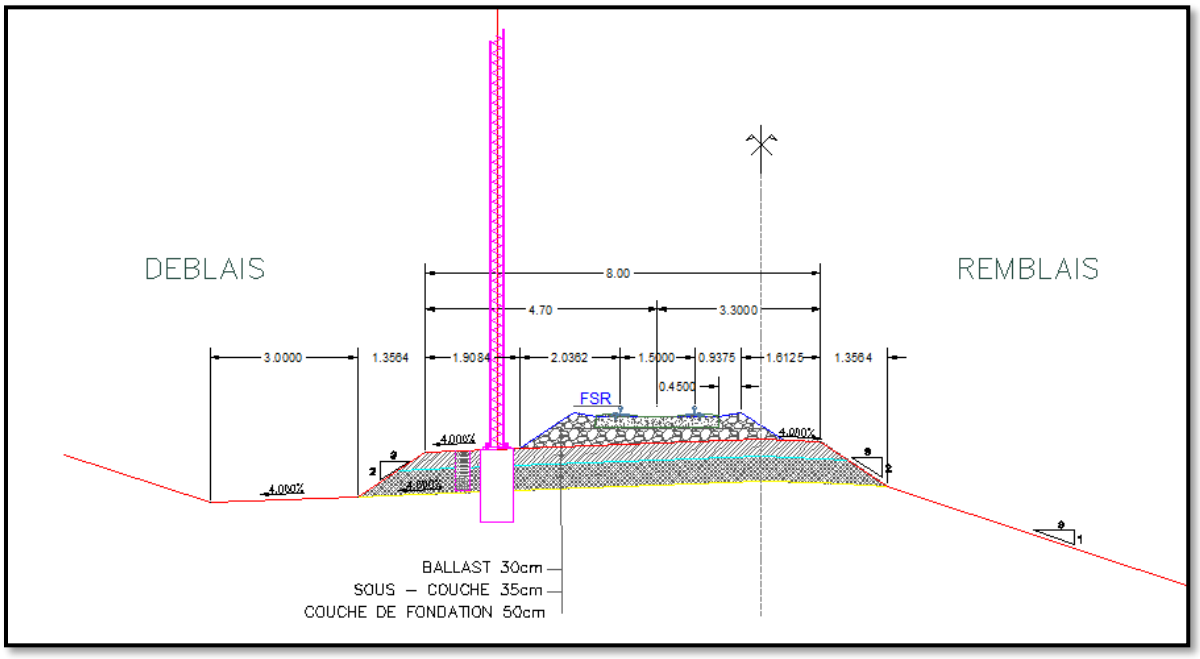


Figure X. 2: profil en travers type pleine voie.

X.6.2. Profil en travers de la boucle de raccordement

- Type de ligne : voie de service unique non électrifié
- Ecartement de la voie de 1435mm.
- La voie repose sur une plateforme de 6.80 m de largeur.
- La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- Les talus de déblais et de remblais 3H/1V en pente.
- Epaisseur du ballast 30cm.
- Epaisseur de la sous-couche 20 cm.
- L'épaisseur de la couche de fondation est de 20cm.

X.6.3. La gare

Les caractéristiques géométriques de la gare sont les suivantes :

- Type de ligne : voie unique électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1435 mm.
- Entraxe : 4,20 m.
- Pente latérale de la plateforme : 4 %.
- Epaisseur de ballast : 30 cm.
- Epaisseur de sous-ballast : 35 cm.
- Epaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Distance axe de voie – bord de quai : 1,65 m.

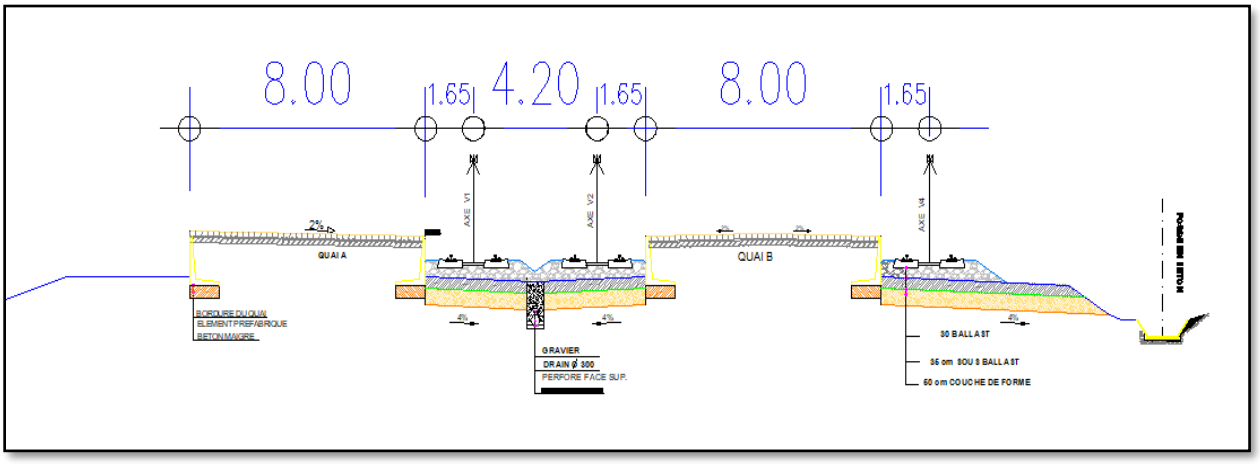


Figure X. 3: profil en travers en gare.

NB : Les profils en travers types sont joints en plans format A3.

Chapitre XI : TERRASSEMENTS

XI. TERRASSEMENTS

XI.1. Introduction

Le terrassement c'est la mise en forme du terrain avant la construction, c'est des travaux de grandes ampleurs consistant à déplacer des quantités importantes de matériaux en créant des ouvrages en terre soit en remblai soit en déblai, de sorte que le tout reste stable

XI.2. Section en déblai

Les déblais consistent à abaisser le niveau du train par enlèvement des terres appelés aussi fouilles ou extraction. Dans le cas du projet on remarque que pas des zones importantes des déblais.

Tableau XI. 1 : section des déblais.

PK Début	PK Fin	L (m)	H_{max} (m)	Pente Proposé
0+721	**0+736**	14.5	0.4	3H/1V
1+930	**1+953**	23.6	0.65	
3+478	**3+615**	137.5	0.54	
10+380	**10+499**	119	1.69	

XI.3. Section en remblai

Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi remblaiement. La plupart de tracé est situé sur des zones remblais dont la hauteur variée de 0 à 5.1 m.

Tableau XI. 2 : section des remblais.

PK Début	PK Fin	L (m)	H_{max} (m)	Pente Proposé
0	**0+721**	721.7	2	3H/1V
0+736	**1+956**	1220	3.2	
1+979	**2+171**	192	3.2	
2+181	**3+444**	1297	2.9	
3+615	**6+443**	2827.5	3	
6+461	**7+117**	655.2	1.5	
7+131	**9+064**	1930.7	4.9	
9+080	**9+194**	114.6		
9+205	**10+380**	1176	4	
10+687	**12+400**	1714.2	5.1	

Vue la spéciéité de la région le profil en long est fait de sort que le tracé être en remblai le maximum si c'est est possible.

Comme la région représente des terrains très peu accidentée on remarque les hauteurs déblais et remblais sont acceptable pas trop élevés tous sont inférieurs à huit mètre (H < 8m). Aussi Dans ce cas on n'est pas besoin de bermes.

XI.4. Etude de stabilité

Selon UIC 719 R la sécurité au glissement tant à court qu'à long terme, doit être vérifiée par le calcul à partir des caractéristiques mécaniques et hydrogéologiques et géotechniques des matériaux.

Les principaux paramètres géotechniques déterminés pour chaque lithologie qui sont employés dans les analyses de stabilité des déblais remblais sont les suivants :

- Poids spécifique γ.
- Cohésion c'.
- Angle de frottement interne φ'.

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération

- Fs $\geq$ 1.3 à court terme.
- Fs $\geq$ 1.5 à long terme.
- Fs $\geq$ 1.1 situation accidentelle (séisme).

Dans le cas de projet les déblais et les remblais ont des hauteurs inférieures à huit mètres (8m) donc sont considérés comme stables.

XI.5. CALCUL DES VOLUMES DES TERRASSEMENT

Les volumes des terrassements sont calculés après avoir défini la ligne rouge du projet et les différentes côtes du terrain naturel à partir du tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.
Le calcul des cubatures des terrassements a été fait à l'aide du logiciel « COVADIS 2013 » et « STAR APIC », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau XI. 3: Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m^3)
Déblais	**47880**
Remblais	**330000**

Tableau XI. 4 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise.

Couche	Volume (m^3)
Ballast	**53420**
Sous ballast	**55095**
Couche de forme	**71410**
Couche de fondation	**7500**

XI.6. CONCLUSION

Le couloir de tracé présente un terrain très peu accidenté pratiquement plat, les déblais et les remblais ont des H< 8 m donc sont considérés tous comme stables, avec des pentes de 1V/3H.

Souvent sur les chantiers le rapport déblais/remblais n'est pas équilibré, aussi comme la nature des sols dans le couloir sont des sables fins content des gypses donc les matériaux des déblais ne sont pas réutilisables en remblais et couche de forme. Ce qui impose d'exporter ou d'importer des terres pour la pose des remblais.

Chapitre XII : CONCEPTION de LA GARE

XII. CONCEPTION DE LA GARE

XII.1. INTRODUCTION

Tout projet du transport ferroviaire doit avoir un aménagement de la gare. C'est le lieu d'arrêt des trains qui comprend diverses installations qui ont une double fonction :

- Permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises.
- Pour certaines d'entre elles assure des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

Le but de ce chapitre est de fournir une description de la fonctionnalité de la gare, et de donner une conception des voies et des quais de la nouvelle gare de Touggourt.

XII.2. TYPES DES GARES

On distingue plusieurs types des gares :

- **Gare de voyageurs :**

Regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage.

- **Gare de marchandises Ferroviaire.**
- **Gare mixte.**
- **Gare de triage.**
- **Gare de croisements :** afin de permettre à deux trains de se croiser ou de se dépasser.

Généralement à des points d'arrêt à fréquentation réduite dans des zones à faible densité de population, les gares deviennent des haltes.

Les haltes ferroviaires sont des points d'arrêt dépourvus de bâtiment voyageurs ou de présence permanente de personnel, les infrastructures ferroviaires y sont généralement très réduites, parfois un simple quai.

Pour le cas de projet, aura lieu :

- Deux nouvelles gares de voyageurs, l'une au niveau de Touggourt et l'autre à Hassi Messaoud.
- Deux gares marchandises, la gare de voyageur actuel de Touggourt sera une gare de marchandises, et avec une nouvelle gare à Hassi Messaoud
- Deux haltes et gares de croisements

Pour le projet de fin d'étude sur le tronçon de PK0+000 au PK 12+000. On réalise l'aménagement de la nouvelle gare de Voyageurs Touggourt.

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

- **Catégories de la voie :** elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.
- **Le trafic :** c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.
- **L'emplacement de la gare :** généralement, c'est l'élément qui définit et détermine la fréquentation de la ligne.

XII.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

- Le bâtiment de voyageurs.
- 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 toute sécurité.

XII.4. GARAGE FRANC

Marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Il assure qu'il n'y aura pas de collision ou un risque de prise en écharpe entre le train dévié et le train dans la voie principale.

La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement). (Figure XII.1)

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

$$\mathbf{GF = (3.57 \times N) + 1} \qquad \text{en (m).}$$

$N = \frac{1}{\tan(\alpha)}$ qui dépend type de l'appareil de voie.

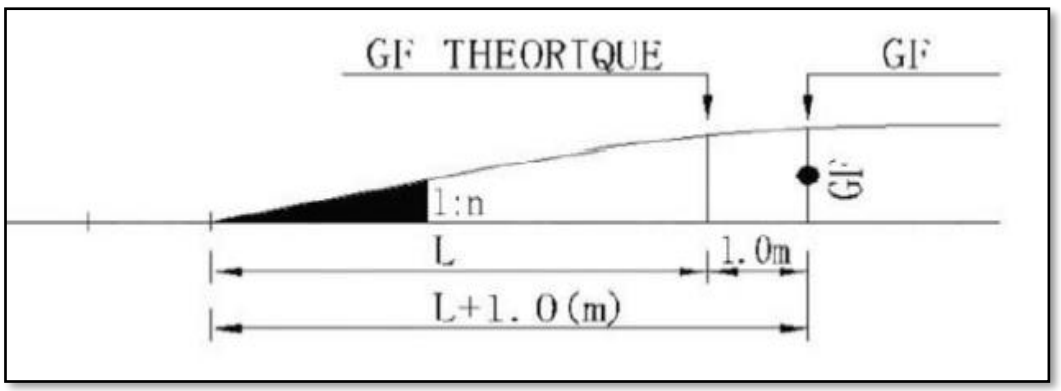


Figure XII. 1 : garage franc.

XII.5. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. (Longueur entre deux garage Franc) (Figure XII.2).
Les voies destinées au stationnement des trains voyageurs ont une longueur minimale utile de 225 mètres. Une longueur inférieure n'est pas requise pour ce type de trains (train de référence une rame fait 74.078m, pour trois rames $3 \times 74.07 = 222.22 \approx 225$m).

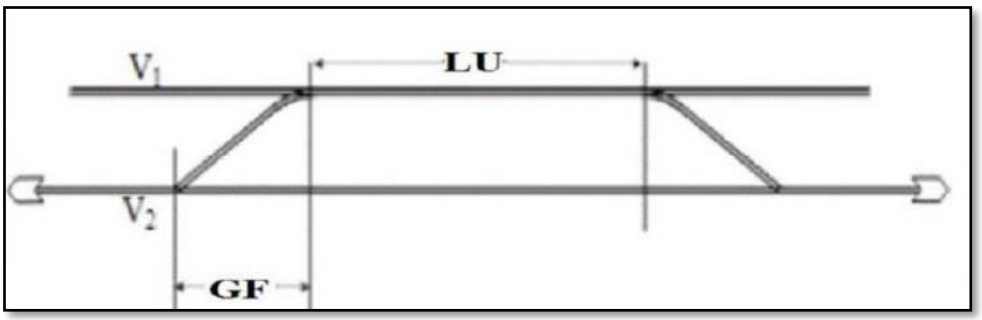


Figure XII. 2: longueur utile.

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

- Longueur utile des quais Grande Ligne 350 m.
- Longueur utile des quais navettes 225 m.
- Longueur utile des voies d'évitement 1200 m.

XII.6. HEURTOIR

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies, ces voies appelés « voie tiroirs ou bien voie en cul de sec » 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 situés à la même hauteur que l'attelage des trains. (Figure XII.3)

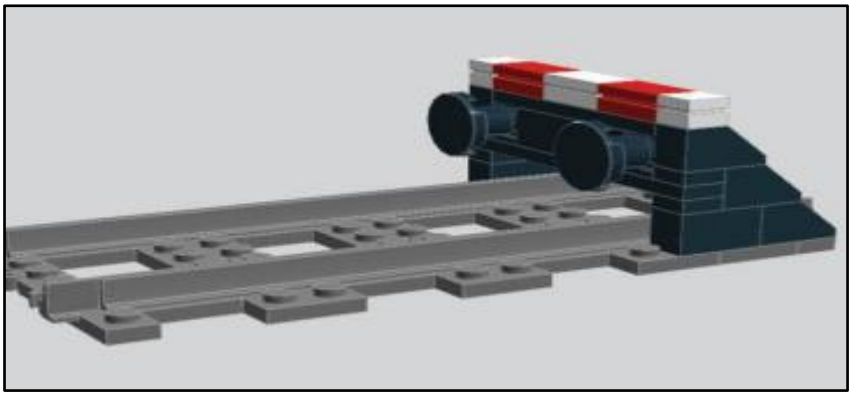


Figure XII. 3 : photo représentative d'un heurtoir.

XII.7. Les Quais

XII.7.1. La Hauteur Du Quai (H)

Selon la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm.
- Sous certaines conditions, une hauteur de 760 mm par exemple les quais concernés par le trafic voyageurs dans les grandes lignes et banlieue.

XII.7.2. Distance par rapport à l'axe de la voie

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$\mathbf{L\ (mm) = 1\ 650 + S}$$

La valeur de S est donnée par la formule : $\mathbf{S(mm)= \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2}}$

R : étant le rayon de la voie en (m).

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

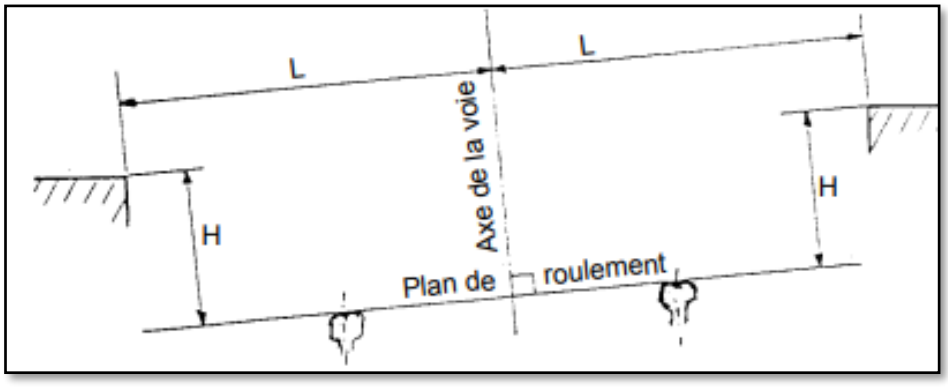


Figure XII. 4: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie.

XII.7.3. L'entre axe des quais

Selon SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

XII.8. CONCEPTION DE LA GARE DE PROJET

Dans la gare intermodale de Touggourt est Les trains Grande Ligne en direction de Hassi Messaoud Pôle Pétrolier s'arrêteront en voie V2, alors que les trains se dirigeant vers le nord s'arrêteront en voie VP(V1). Les trains marchandises pourront stationner sur la voie V4 pour permettre les croisements ou les rattrapages. Cette voie V4, de 1200 m de longueur utile, sera aussi utilisée pour gérer les situations dégradées. (Figure XII.5)

Le choix de son emplacement est effectué de façon qu'il soit proche de la ville où se rassemble la vie sociale et économique.

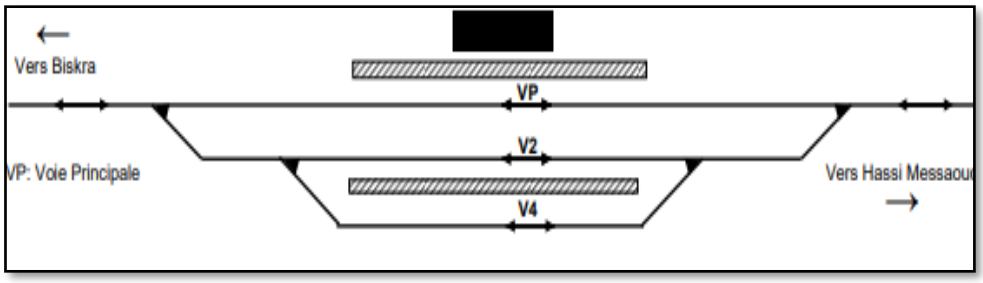


Figure XII. 5 : gare de Touggourt.

- Longueur des quais :
- Les quais des voyageurs A et B sont localisés en alignement droit et possèdent une longueur de 350m. avec une pente de 2%.
- La largeur des quais : Selon les instructions recommandées par la SNTF et L'ANESRIF Pour les quais on prend une largeur de **8m ,** soit pour quai extérieur ou le quai intermédiaire.
- La hauteur des quais : la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de **550m.**
- Leur distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 est donnée par

$$\mathbf{L\ (mm) = 1\ 650 + S} = 1650 + \frac{\mathbf{3750}}{\boldsymbol{R}} + \frac{(\boldsymbol{I}-\mathbf{1435})}{\mathbf{2}}$$

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit R = ∞)
Écartement de la voie (dans ce cas est I = 1435 mm).

$$\mathbf{L\ (mm)} = 1650 + \frac{\mathbf{3750}}{\infty} + \frac{(\mathbf{1435-1435})}{\mathbf{2}} = \mathbf{1650\ mm.}$$

La distance de la bordure de quai par rapport à l'axe de la voie est **L= 1650mm.**

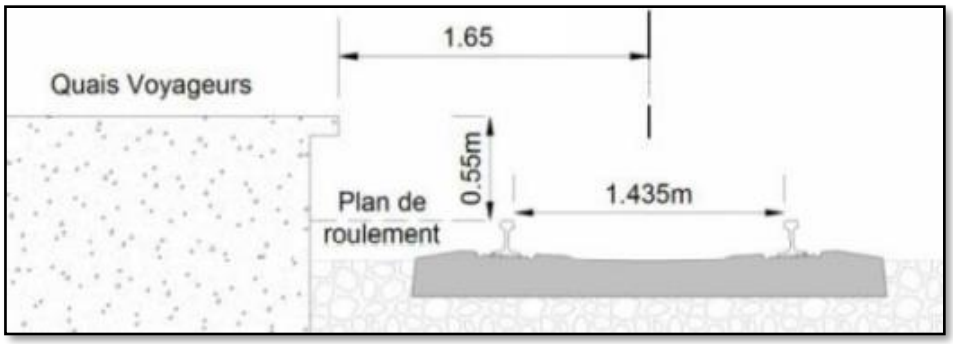


Figure XII. 6: la hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie dans gare Touggourt.

- Entraxe nominal en ≥ **11.3 m.**
- Passerelle supérieure :

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

- La largeur est : B ≥ 2.4 on prend une largeur **B = 2.5 m.**
- La hauteur est : H > 6.2 m soit une **hauteur 6.5 m** pour mieux placer les caténaires.

NB : dans les lignes à grande vitesse les passerelles normalement sont interdit et seront remplacés par des passages sous terrain a l'exception la gare de Touggourt pour des raison des spécifications de la région on est opté pour une passerelle.

- Les abris de quai :
  - Soit dans un quai de 350, trois abris de hauteur 3m.
- La distance du garage franc :

  En utilisant la formule suivante,

$$\mathbf{GF = (3.57 \times N) + 1}$$

Pour le projet pour la gare on a recours à des appareils de voie de type UIC 60 500- 1/12.

- Calcul la distance de garage franc :

$$\mathbf{GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 12\ ) + 1 = 43.84 m.}$$

D'où la distance de garage franc est de 43.84m à partir le croisement de l'appareil de voie.

- Longueur utile : 1200 m.

Tableau XII. 1 : les longueurs utiles.

Voie	Longueur utile
V1	1342.4 m
V2	1200 m
V4	1200 m

XII.8.1. Tracé en plan

En termes généraux le tracé des lignes principales se développe en alignement droite de 1570 m et une longueur utile de 1200m, du Pk 5+637 au Pk 7+210 ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci. Pour permettre la liaison entre ces différentes lignes, il a été nécessaire de placer six (6) appareils de voie, ainsi que courbes sur plan, sans dévers et sans courbes de transition

La boucle de raccordement va être raccordée avec la gare et se terminent en cul de sac.

Le bâtiment voyageur est installé au Pk 6+475

XII.8.2. Profil en Long

- La gare se développe en palier (p =0‰).
- Et à cote FSR= 17.2+22+0.9 +30 -1.35*4 = 0.647 m.

XII.8.3. Profil en travers

(Traiter dans le Chapitre X profil en travers.)

XII.9. Les appareils de vois et leurs implantations

Tous les appareils de voie de la Gare de Touggourt sont du type UIC 60 -500-1/12.

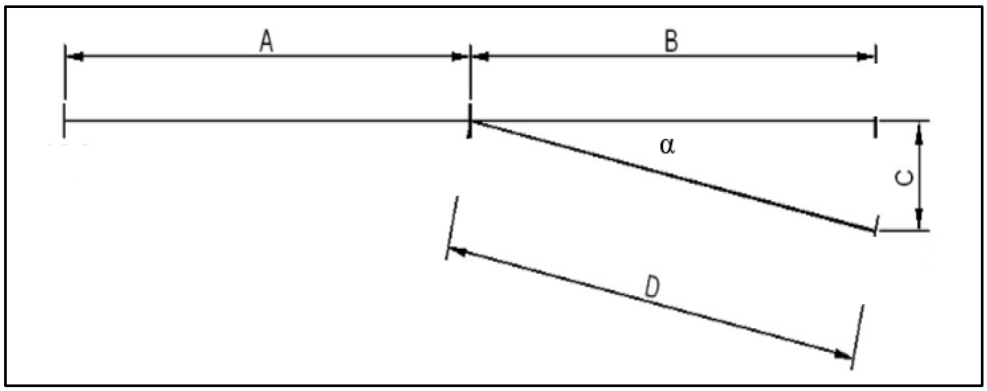


Figure XII. 7: Schéma de l'appareil de voie.

Tableau XII. 2: Paramètres de l'appareil de voie UIC54-500-1/12.

Type	A	B	C	D	tan α
UIC 60 500 1/12	**20.797**	**20.797**	**1.729**	**20.797**	**0.083**

Tableau XII. 3: : implantation des ADV.

ADV	Points	X	Y	Déviation
(1) UIC 60 500 1/12	**a**	**784510.1075**	**3667838.1697**	**Droite**
	b	**784501.9106**	**3667819.0557**	
	c	**784493.7136**	**3667799.9417**	
	d	**784492.1546**	**3667800.6884**	
(2) UIC 60 500 1/12	**a**	**784468.2947**	**3667752.0864**	**Droite**
	b	**784476.4917**	**3667771.2004**	
	c	**784484.6886**	**3667790.3144**	
	d	**784486.2477**	**3667789.5676**	
(3) UIC 54 500 1/12	**a**	**784465.8541**	**3667746.3952**	**Droite**
	b	**784457.7330**	**3667727.4580**	
	c	**784449.5360**	**3667708.3440**	
	d	**784447.9770**	**3667709.0907**	
(4) UIC 54 500 1/12	**a**	**784434.0087**	**3667682.7931**	**Droite**
	b	**784425.8117**	**3667663.6242**	
	c	**784417.6147**	**3667644.5650**	
	d	**784416.0557**	**3667645.3118**	
(5) UIC 54 500 1/12	**a**	**783910.0985**	**3666461.1179**	**Gauche**
	b	**783918.2955**	**3666480.2319**	
	c	**783926.4925**	**3666499.3459**	
	d	**783924.8831**	**3666499.9795**	
(6) UIC 54 500 1/12	**a**	**783885.8973**	**3666394.0282**	**Gauche**
	b	**783894.0943**	**3666413.1422**	
	c	**783902.2913**	**3666432.2563**	
	d	**783900.6756**	**3666432.8709**	

XII.9.1. ASSAINISSEMENT DE LA GARE

Pour l'assainissement de la nouvelle gare voyageurs Touggourt ;

- Implantation des regarde de visite (type 1 (1.20 ×1.20)) et les regardes de raccordement de type 2 (08 ×0.8)) chaque 50 m.
- Le drainage longitudinal se fait par la mise en place de conduites perforées circulaires (PVC ϕ =300 mm).
- Les fossés bétonnés avec (b= 0.5m et h= 0.5m).
- Pour assure un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.

XII.10. CONCLUSION

L'aménagement de la Gare de Touggourt a été fait d'une manière à satisfaire les besoins socio-économiques de la région que ça soit le transport des voyageurs ou bien de la marchandise.

Chapitre XIII : SIGNALISATION et ELECTRIFICATION

XIII. SIGNALISATION FERROVIAIRE :

XIII.1. INTRODUCTION :

Le roulement fer sur fer n'offre qu'une très peu de résistance, une fois le train est lancé il sera très difficile de s'arrêter, et c'est là que les ennuis commencent, d'où la nécessité de mettre en place des règles et des dispositifs de sécurité.

La signalisation garantir la sécurité des circulations des trains et les voyageurs. La signalisation ferroviaire est un ensemble d'instruction sous forme de panneaux (dans le cas de signalisation mécanique) ou des feux (dans le cas de signalisation lumineuse), visible par le mécanicien à partir du train.

XIII.2. 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.
- Soit de tableaux lumineux ou réflectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

XIII.3. 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.

XIII.4. ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION :

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages des trains.
- La protection des circulations dans les établissements.
- Les prises en écharpes et les nez à nez de circulation (la circulation, dans les deux sens, sur une même voie).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

XIII.5. 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.

XIII.6. IMPLANTATION LONGITUDINALE

Les signaux implantés à demeure sont normalement installés à gauche de la 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.

XIII.7. LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION

- Signaux d'indication de marche.
- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation d'annonce d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.

En complément des signaux d'arrêt, de limitation de vitesse et des signaux qui les annoncent à distance, pour plus des précisions, il existe :

- Des signaux indicateurs de direction.
- Des signaux de départ des trains.
- Des pancartes et tableaux à inscriptions diverses.
- Des signaux de sortie de certains faisceaux ou groupes de voies convergentes.

NB : Tableau des principaux signaux ferroviaires et leur indication dans l'annexe de présent chapitre.

XIII.8. Cantonnement

Pour assurer l'espacement des circulations de même sens, les sections de ligne sont divisées en cantons ; l'entrée de chaque canton est commandée :

- Généralement par un sémaphore.
- Parfois par un signal carré ou par un signal d'arrêt à main précédé éventuellement par un disque.
- Ou bien encore par un feu rouge clignotant.

XIII.9. LA VISIBILITÉ DES SIGNAUX

La sécurité reposant essentiellement sur l'observation des signaux, il importe que :

- Toute indication présentée par un signal, quel qu'il soit, sollicite par elle-même l'attention du mécanicien.
- L'environnement ne puisse pas être une cause de gêne, de distraction ou de confusion pour le mécanicien, tant de jour que de nuit.
- La qualité de la visibilité soit maintenue en permanence.

XIII.10. SYSTEME DE SIGNALISATION PROPOSE POUR LE PROJET

La pleine voie est une voie unique. Sur cette ligne, la vitesse sera de 220 km/h maximum pour les trains de voyageurs et de 80 km/h pour les trains de marchandises.
Les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

XIII.10.1. Enclenchements électroniques

Est ensemble de systèmes obéissant à une logique qui empêche l'exécution d'une manœuvre contraire à la sécurité de la circulation des trains. Avantages de ces enclenchements

- Haute disponibilité
- Haute fiabilité
- Fonctionnalité conforme aux normes d'exploitation et de sécurité
- Facilité de maintenance.

XIII.10.2. Poste de commande centralise

Poste de commande centralise à Hassi Messaoud, **PCC**, est une installation technique d'un réseau de chemin de fer ou de transports en commun, ayant pour objectif d'assurer la marche des trains, la régulation du trafic, mais aussi l'assistance aux conducteurs ou la régulation de l'énergie de traction sur un réseau ferré, Le PCC permet d'avoir une vision globale d'une ligne ou d'un réseau afin de réduire les délais d'intervention en cas de dysfonctionnement
Avantages de PCC ;

- Une gestion centralisée des trains
- Une Gestion des commandes d'exploitation et supervision de la circulation des trains sur toute la ligne.
- Assure un contrôle en temps réel de l'ensemble des équipements pour toutes les gares de la ligne.
- Remontée des alarmes pour une meilleure gestion des opérations et la maintenance.

XIII.10.3. Système de signalisation ERTMS/ETCS

La ligne sera entièrement équipée d'une nouvelle signalisation. Pour ce faire, c'est le système Européen de protection des trains ETCS de niveau 1 (Européen Train Control System) qui sera utilisé.

Le nouveau système de signalisation ERTMS/ETCS est le système de signalisation le plus communément adopté en Europe pour le développement des nouvelles lignes à grande vitesse.

En plus de l'interopérabilité, l'un des éléments clé pour la compétitivité du secteur ferroviaire Européen, ERTMS/ETCS assure une haute performance en matière de sécurité, de coût, d'accessibilité et de maintenance et diminuer les coûts de maintenance, afin de garantir une croissance rapide et efficace de l'activité ferroviaire. Réduire les intervalles entre deux trains
L'ERTMS (Européen Rail Traffic Management System), actuellement la technologie la plus utilisée dans la signalisation.
ERTMS se compose essentiellement du système de contrôle commande ETCS (est un système ATP ''Automatic Train Protection'' standardisé) et du système de communication radio GSM-R.

XIII.10.4. Système de Cantonnement

Entre les gares, la ligne n'est pas découpée en cantons intermédiaires il n'y a qu'un seul canton entre les gares.
Comme les distances entre les gares sont assez grandes et le débit de la ligne plutôt faible. le système Block Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) sera appliqué. Les signaux de sortie seront équipés de l'indication Sémaphore et non pas de l'indication Carré
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

XIII.10.5. Les principaux signaux pouvant être utilisés

D'après le (tableau XIII.1 dans l'annexe) les signaux qui seront utilisés dans la gare :

- Signaux d'indication de marche : VL.
- Signalisation d'annonce d'arrêt : A
- Signalisation d'arrêt : S, CV.
- Signaux utilisés pour les manœuvres : LM, M.
- Signalisation de limitation de vitesse : R

Cette signalisation concerne la gare, pour la pleine voie on installe que les balises.

XIII.10.6. Electrification

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

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

XIII.11. CONCLUSION

L'ANESRIF fixé comme objectif de faire du réseau ferroviaire algérien l'un des plus sûrs d'Afrique ; En optant pour la généralisation des dernières technologies dans le domaine ferroviaire tel que le système européen de contrôle des trains ERTMS/ETCS et le GSM-R.

Chapitre XIV :
Etude d'IMPACT
Sur
l'ENVIRONNEMENT

XIV. ETUDE D'IMPACT DE L'INFRASTRUCTURE SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV.1. Introduction

L'impact de l'infrastructure sur l'environnement c'est la première et principale étape du processus de l'évaluation environnementale, c'est aussi une étude préalable permettant d'évaluer les effets directs ou indirects pouvant atteindre l'environnement à court, moyen et long terme suite à la mise en place des infrastructures de base et de déterminer des mesures pour supprimer, atténuer, ou compenser les impacts négatifs et d'améliorer des effets positifs du projet sur l'environnement.
L'étude d'impact sur l'environnement dans le projet Touggourt - Hassi Messaoud et particulièrement le tronçon du PK 0+000 au PK 12+000 comporte :

- Une description globale de l'état initial du site et de son environnement susceptible d'être affecté par le projet.
- Une évaluation des impacts positifs et négatifs du projet.
- Les mesures de mitigation et de compensation envisagées aux conséquences dommageables du projet sur l'environnement.

XIV.2. Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement a pour objet ;

- D'évaluer de manière méthodique et préalable, les répercussions éventuelles, les effets directs et indirects temporaires et permanents du projet sur l'environnement.
- De poser des mesures contre les répercussions négatives du projet.
- De mettre en valeur et d'améliorer les impacts positifs du projet sur l'environnement.
- D'informer la population concernée sur les impacts négatifs du projet.

XIV.3. Description du milieu

XIV.3.1. Milieu physique

XIV.3.1.1. Climat

La zone d'étude est caractérisée par un climat désertique et très sec, Les températures qui le caractérisent sont très élevées (la température moyenne est de 21.4°C). La moyenne des précipitations annuelles ne dépasse pas 100 mm. Et des vents de dominance.

XIV.3.1.2. Géomorphologie

La zone d'étude se situe dans la partie nord-orientale de la plateforme saharienne, au sud des chaînes montagneuses des hauts plateaux. Elle constitue une grande extension de terrain formé de champs de dunes.

XIV.3.1.3. Géologie et lithologie

Selon la carte géologique de l'Algérie, on distingue sur le couloir de passage de tronçon d'étude 2 ères chronologiques de formation des dépôts, Tertiaire (Marnes gypseuses) et Quaternaire (Sable fin de limons avec gypse, dunes, …).

XIV.3.1.4. Hydrologie et hydrogéologie

La nouvelle ligne traversé un certain nombre de bassins versants hydrologiques qui appartiennent aux Bassins du Sahara et fait partie du bassin versant du Sahara codé (13) d'après le classement de l'ANRH, Ce dernier appartient à l'unité hydrogéologique du Sahara Septentrionale sur une superficie de 720 000 Km² et dont une grande partie est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km².

XIV.3.1.5. Sismologie

L'analyse de la carte révèle que tout le périmètre d'étude se trouve sur un axe d'activité sismique négligeable (zone 0).

XIV.3.1.6. Qualité de l'air

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

XIV.3.2. Milieu biologique

XIV.3.2.1. Végétation

Le tapis végétal discontinu et irrégulier, les plantes utilisent surtout les emplacements où le ravitaillement en eau se trouve un peu moins défavorable, La végétation dans les zones aride est très clairsemée, à aspect en général nu, les arbres sont aussi rares que dispersés et les herbes n'y apparaissent que pendant une période très brève de l'année, quand les conditions deviennent favorables. La zone représente aussi une richesse en forêts.

XIV.3.2.2. Faune

La zone d'étude abrite une faune composée pour essentiel de dromadaire (baâir), le mouton, la chèvre et le cheval.

XIV.3.3. Milieu humain

XIV.3.3.1. Démographie

Selon, les résultats du recensement général de la population et de l'habitat de 2008 l'ensemble des communes de la wilaya de Touggourt a enregistré une population totale de 2470221 habitants.

XIV.3.4. Activité économique

XIV.3.4.1. L'Agriculture

L'activité agricole à Touggourt concerne aussi d'autres filières stratégiques, telles que le maraichage, la serriculture, l'arboriculture et l'élevage du bétail (bovin, caprin, camelin), pratiqué dans plusieurs régions, de la wilaya, on outre le périmètre agricole dit el-Anet (chef - lieu de wilaya) qui s'est engagé, lors de dernière saison, dans la filière céréaliculture, pour la première fois.

Ce secteur constitue l'un des secteurs économiques les plus importants de la zone d'étude.

XIV.3.4.2. L'industrie

La nouvelle wilaya de Touggourt compte plusieurs richesses naturelles qui favorisent le lancement de projets à caractère industriel, L'activité industrielle de la wilaya est essentiellement composée de 116 unités de production de matériaux de construction. Elle compte aussi 108 unités versées dans l'agroalimentaire et 221 autres dans la transformation et diverses autres activités. En plus du domaine industriel, la wilaya a également enregistré plusieurs investissements dans d'autres secteurs (santé, tourisme…).

XIV.3.4.3. Le commerce

La zone d'influence appartient à une zone à fort mouvement commercial. Cette région occupant une situation stratégique joue le rôle d'une zone de transit entre le nord et le grand sud du pays drainant un trafic routier important.

XIV.3.5. Les infrastructures de base

XIV.3.5.1. Les infrastructures ferroviaires

La ligne ferroviaire actuelle Biskra -Touggourt (la voie ferrée du Sud - Est algérien) avec une gare ferroviaire terminus actuelle.

XIV.3.5.2. Les infrastructures aéroportuaires

La zone d'étude est desservie par un aéroport situé à 9 km au sud-est de la ville, à côté du village et de station agricole expérimentale de Sidi-Mahdi.

XIV.3.5.3. Les infrastructures routières

Le réseau routier de la zone d'influence du projet est représenté par la nationale RN03, et quelques lignes de bus forment le réseau du transport urbain de la ville.

XIV.4. Evaluation des impacts

XIV.4.1. Identification des impacts

L'identification des impacts du projet est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter. On doit chercher des aspects et les impacts associés aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation d'une voie ferrée et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées.

XIV.4.1.1. Milieu physique

Tableau XIV. 1 : les impacts sur milieu physique.

L'élément affecté	Impact
Géologie et géomorphologie	Les principales causes des altérations géologiques et géomorphologiques locales sont les terrassements, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même - Augmentation des risques d'instabilité de versants. - Changements dans la géomorphologie local.
Sur les eaux souterraines.	Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, qui dans le cas de déversement accidentel de ces derniers peuvent causer une contamination des eaux souterraines.
Qualité de l'air	Gaz d'échappement des engins et des camions, émission de poussières (due aux matériaux du terrassement de la plat forme) , les odeurs augmenteront à la suite des travaux de débroussaillage, excavation, remblayage, circulation de machines, etc. dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux.
Parcellaire	Déstructuration du parcellaire : Lors de l'implantation de la ligne, des parcelles peuvent être morcelées (création de petites parcelles) ou peu accessibles, des délaissés peuvent être créés, ces terrains peuvent alors être incultivables ou peu rentables du fait de leurs tailles trop réduites.

XIV.4.1.2. Impacts sonores

a) Bruit

La principale nuisance causée par le transport ferroviaire est le bruit émis par la circulation des trains, résultant de la pénétration dans l'air ainsi que de contact acier sur acier des roues et du rail. La gêne occasionnée est en effet de plus en plus perçue, notamment dans les zones à forte densité d'habitation, particulièrement pendant la nuit. La problématique posée par le bruit des chemins de fer n'est toutefois pas ressentie de la même manière dans chaque région.
Dans le projet, la population exposée au bruit du transport ferroviaire est centrée au niveau de Touggourt particulièrement dans les zones proches de la gare où il y'a aussi un hôpital en cours de réalisation.

- **Les vibrations :**

La circulation des trains sur une voie ferrée provoque également l'émission des vibrations transmises par le sol à des distances relativement très importantes. L'origine de ces vibrations se situe essentiellement dans la succession des charges roulantes, des phénomènes de glissement

roue /rail et des imperfections géométriques du rail et de la roue.

XIV.4.1.3. Milieu biologique

Tableau XIV. 2: les impacts sur milieu biologique.

L'élément affecté	Impact
Végétation et forêts	Les principales altérations sur la végétation sont dues aux interventions pendant la phase de réalisation, compte tenu du débroussaillage effectué sur les zones que le tracé occupera, sur les emprunts, les forêts … etc. L'ampleur de cette altération dépendra du type de végétation affectée et de la largeur qu'occupera l'infrastructure.
Faune	Les impacts que la construction et la mise en service de la voie ferrée exerceront sur la faune sont différents : destruction ou dégradation de biotopes propres à la faune, effet barrière ; qui renvoie à l'interception des mouvements de la faune, est due aux barrières du fermetures …, contraints de s'enfuir, tous cela à cause des altérations en raison de bruits, pollution, déchets …

XIV.5. Impacts positifs

La mise en service de la nouvelle ligne participera à l'apparition de dynamiques nouvelles, qui nécessitent des actions concertées mobilisant un grand nombre de partenaires et d'actions socioéconomiques en faveur des entreprises, aménagement urbain à proximité des gares nouvelles, amélioration des transports de rabattement, etc.

Le projet tendra d'atteindre les objectifs suivants :

- Augmenter la part de desserte ferroviaire dans la région.
- Désenclavement de la région sud-est du pays.
- Contribuer au développement socioéconomique de la région.
- Soulagement de réseau routier d'une partie du trafic de marchandises notamment.
- Moins polluant.

XIV.6. MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES :

Afin de minimiser l'impact sur l'environnement qui pourrait être générée, il serait recommandable de faire des mesures aux impacts identifiés par rapport aux contraintes environnementales ainsi que la conception du projet et des ouvrages, les mesures techniques et préventives visent à réduire et corriger les répercussions négatives du projet.

XIV.6.1. Milieu physique

- La première mesure de prévention est la limitation du nombre des moteurs thermiques en utilisant des moteurs électrique chaque fois que cela est possible.
- Des mesures particulières (arrosage des pistes d'accès) sont à envisager. Bâchage de camions ; Durant le transport de matériaux.
- Il faut éviter :

- Le nettoyage des engins de chantier aux bords d'Oued,
- Rejet des déchets (sanitaires, ou bien de la base de vie) en phase de construction.

- Jalonnement délimitation par un système de clôture, et signalisation du périmètre des travaux. Afin d'assurer la sécurité des riverains.
- Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes (par exemple les zones de déblais, les fossés, etc.) qui présentent un risque d'accident ;
- De réaliser le rétablissement du talus des fronts d'exploitation et le terrassement total ou partiel du trou généré par la remise en état de l'ancien terrain végétal pour ensuite pouvoir le revégétaliser ou l'utiliser en tant que terrain agricole.

XIV.6.2. Milieu biologique

- Des passages et des barrières pour la faune, en particulier, les mammifères, doivent être préconisés et localisées à partir d'observations sur site et de renseignement requis auprès des structures forestières et agricoles. Les ouvrages hydrauliques peuvent servir de passage pour une certaine catégorie de faunes,
- Eviter au maximum les zones riches en végétation.
- Limiter les travaux de déboisement à l'emprise et favoriser la reprise végétale dans les aires affectées par le déboisement en dehors de l'emprise.

XIV.6.3. Milieu sonore

- Les mesures d'atténuation des impacts sonores de la voie ferrée sont nécessaires Pour répondre à ces exigences, l'aménagement d'écrans antibruit est recommandé. Selon l'espace disponible, cet écran peut être constitué d'un mur seul, d'un mur avec butte ou d'une butte seule. L'énumération des diverses mesures d'atténuation prévisible est faite par zone.

XIV.7. Conclusion

Comme tout projet similaire, pendant la construction et exploitation de l'infrastructure il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement ce qui va entrainer des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain et sur le cadre de vie des riverains.

Les principaux impacts dus à l'implantation d'une nouvelle ligne sont liés à l'effet de consommation de terrains et à l'effet de coupure induits par le projet.

Afin de permettre la mise en œuvre les différentes résolutions prises pour l'intégration environnementale du projet et de contrôler leurs applications, il est nécessaire de réaliser un suivi et une surveillance des mesures de préservation et de récupération.

Chapitre XV : DEVIS QUANTITATIF et ESTIMATIF

XV. DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF

Tableau XV. 1: devis quantitatif estimatif.

	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant HT (DA)
1- INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION					
1-1	Installation générale de chantier	F	01	500 000 000.00	500 000 000.00
1-2	Etude d'exécution	F	01	90 000 000.00	90 000 000.00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					590 000 000.00
2- TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale	M3	94899.47	440.00	41 755 766.8
2-2	Déblai mise en dépôt	M3	47880	560.00	26 812 800.00
2-3	Remblais d'apport	M3	269280	620.00	166 953 600.00
2-4	Mise en Remblais avec une couche de géotextile	M3	60720	1000.00	60 720 000.00
2-5	Fourniture et mise en ouvre de la couche de forme	M3	71410	2000.00	142 820 000.00
2-6	Fourniture et mise en ouvre de la couche de sous ballast	M3	55095	3500.00	192 832 500.00
2-7	Couche de fondation	M3	7500	2000.00	15 000 000.00
Coût total des terrassements (DA)					646 894 666.80
3- OUVRAGE D'ART					
3-1	Passage supérieur	U	04	638 000 000.00	638 000 000.00
Coût total des ouvrages d'art (DA)					638 000 000.00
4- OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	1500	6800.00	10 200 000.00
4-2	Dalot en béton armé 1.5×1.5	M3	243	55000.00	13 365 000.00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					23 565 000.00
5- TRAVAUX DE VOIE					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	53420	5500.00	293 810 000.00
5-2	Soudage aluminothermique	U	125	12 500.00	1 562 500.00
5-3	Soudage électrique	U	1800	9300.00	16 740 000.00
5-4	Fourniture des rails UIC 60	T	1673.838	125 000.00	20 922 9750.00
5-5	Fourniture des rails UIC 54	T	572.4	115 000.00	65 826 000.00
5-6	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé	U	8700	7000.00	60 900 000.00
5-7	Fourniture des traverses monobloc en béton précontrainte	U	23170	8500.00	196 945 000.00
5-8	Attache Nabla	U	63740	470.00	29 957 800.00
5-9	ADV UIC 54 – 500-1/9	U	01	12 000 000.00	12 000 000.00
5-10	ADV UIC 60 – 500-1/12	U	06	13 500 000.00	13 500 000.00
5-11	ADV UIC 60 – 1200- 1/18.5	U	01	24 000 000.00	24 000 000.00
5-12	Heurtoir	U	01	475000.00	475 000.00
5-13	Pose de la voie	M	19000	5800.00	110 200 000.00
Coût totale des travaux de voie (DA)					1 035 146 050.00
6- GARE					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	01	167 017 299.15	167 017 299.15

6-2	Quais	M3	3080	22650.00	69 762 000.00
Coût totale de la gare (DA)					236 779 299.20
7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
7-1	Signalisation et électrification				251195 292.00
Coût totale de la signalisation et électrification (DA)					251 195 292.00

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot N° 01	Installation de chantier et étude d'exécution	590 000 000.00
Lot N° 02	Terrassements	646 894 667.00
Lot N° 03	Ouvrage d'art	638 000 000.00
Lot N° 04	Ouvrages hydraulique	23 565 000.00
Lot N° 05	Travaux de voie	1 035 146 050.00
Lot N° 06	Gare	236 779 299.20
Lot N° 07	Signalisation et électrification	251 195 292.00
Montant du projet HT		3 421 580 308.00
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		4 071 680 567.00

Montant total du projet en TTC :

Quatre milliard soixante-onze millions six cent quatre-vingt mille et cinq cent soixante-sept de Dinars

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le projet de fin d'étude porte sur une étude APD d'une nouvelle ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud sur le tronçon du Pk 0+000 au Pk 12+000 avec une vitesse rapide de 220 km/h et lente de 80 km/h avec la boucle de raccordement et la conception de la nouvelle gare voyageurs de Touggourt.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de désenclavement et développement de la région Sud-est du pays, cette ligne contribuerait à donner un autre souffle pour les activités socio - économiques de la région, et soulager le réseau routier d'une partie du trafic. Cette grande ligne est considérée comme une grande infrastructure contribuant au développement de l'économie du pays.

Le travail a été réalisé selon les normes et les recommandations de SNTF et UIC, afin de cerner tous les problèmes techniques, tout en assurant le confort et la sécurité aussi bien que l'économie et l'environnement.

Un chapitre bibliographie a été élaboré sur le risque d'ensablement dans le SAHARA.

LA BIBLIOGRAPHIE

[1] IN 0272 (EF 2 C 32) Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h, Version 01 du 12-09-2006.
[2] SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie Version 2 du 22/12/2005.
[3] Cours voie ferrée Mr. Morsli. ENSTP.
[4] UIC 719 R a et b, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.
[5] UIC (741 OR). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie. 3e Edition.
[6] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique : Mission C1 Géologie Géotechnique ».
[7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
[8] Cours hydraulique et assainissement de Mr. Rhmani ENSTP
[9] Guide technique assainissement routier Sétra
[10] Roger Rétiveau : la signalisation ferroviaire 2e édition.
[11] Document pédagogique EPSF Les signaux – Les régimes d'exploitation des lignes – Les systèmes d'espacement des trains.
[12] IN 1482 Signaux – Titre I : Signalisation au sol , version 1 Édition du 05 octobre 2005. propriété de la SNCF
[13] lutte contre l'ensablement
[14] CSTRA 02. Thèse Version final Sebaa le 28. Février. 2021

ANNEXES

Listing Axe En Plan

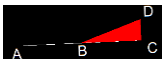
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	197.9749 g	232.146	0.000	786361.209	3673103.357
Clothoïde 1	Paramètre	-614.003	130.000	232.146	786368.592	3672871.329
Arc 1	Rayon	-2900.000 m	1207.149	362.146	786371.756	3672741.370
	Centre X	783471.884 m				
	Centre Y	3672714.121 m				
Clothoïde 2	Paramètre	614.003	130.000	1569.296	786135.149	3671566.505
Droite 2	Gisement	227.3286 g	933.973	1699.296	786081.927	3671447.902
Arc 2	Rayon	20000.000 m	483.048	2633.268	785693.196	3670598.672
	Centre X	803878.543 m				
	Centre Y	3662274.422 m				
Droite 3	Gisement	225.7910 g	6741.330	3116.316	785497.469	3670157.067
Clothoïde 3	Paramètre	-741.620	110.000	9857.647	782840.493	3663961.422
Arc 3	Rayon	-5000.000 m	1793.549	9967.647	782796.768	3663860.486
	Centre X	778223.454 m				
	Centre Y	3665881.575 m				
Clothoïde 4	Paramètre	741.620	110.000	11761.196	781796.143	3662383.590
Droite 4	Gisement	250.0277 g	552.964	11871.196	781718.613	3662305.558
				12424.160	781327.438	3661914.723
Longueur totale de l'axe 12424.160 mètre(s)						

Listing Axe En Plan Raccordement

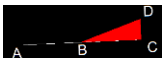
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	11.2204 g	21.048	0.000	786374.325	3670676.107
Clothoïde 1	Paramètre	168.671	100.000	21.048	786378.016	3670696.829
Arc 1	Rayon	284.500 m	721.795	121.048	786389.741	3670796.001
	Centre X	786105.2 m				
	Centre Y	3670796.14 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-168.671	100.000	842.843	785871.243	3670957.963
Droite 2	Gisement	227.3290 g	167.838	942.843	785824.435	3670869.750
				1110.681	785754.578	3670717.141
Longueur totale de l'axe 1110.681 mètre(s)						

Implantation des appareils de voie :

- ✓ **ADV UIC 60 1200 1/18.5**

Appareil N°	Pts	Coordonnées		
		X	Y	Type d'appareil
01	A	786360.530	3673135.713	UIC 60 1200 1/18.5 G
	B	786363.308	3673103.424	
	C	786366.085	3673071.139	
	D	786364.338	3673071.031	

- ✓ **ADV UIC 54 300 1/9**

Appareil N°	Pts	Coordonnées		
		X	Y	Type d'appareil
01	A	786366.6787	3670643.8190	UIC 54 300 1/9
	B	786371.3961	3670659.7513	
	C	786374.4272	3670676.0889	
	D	786376.1823	3670675.7764	

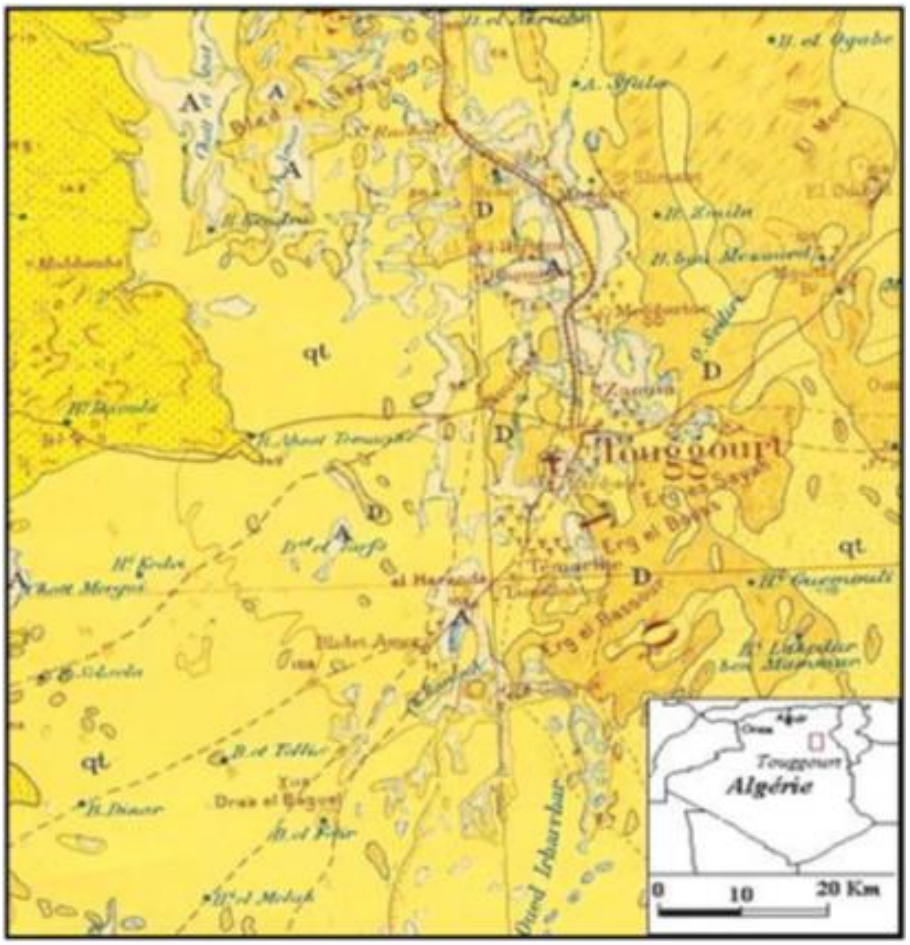
Listing Profil En Long Projet

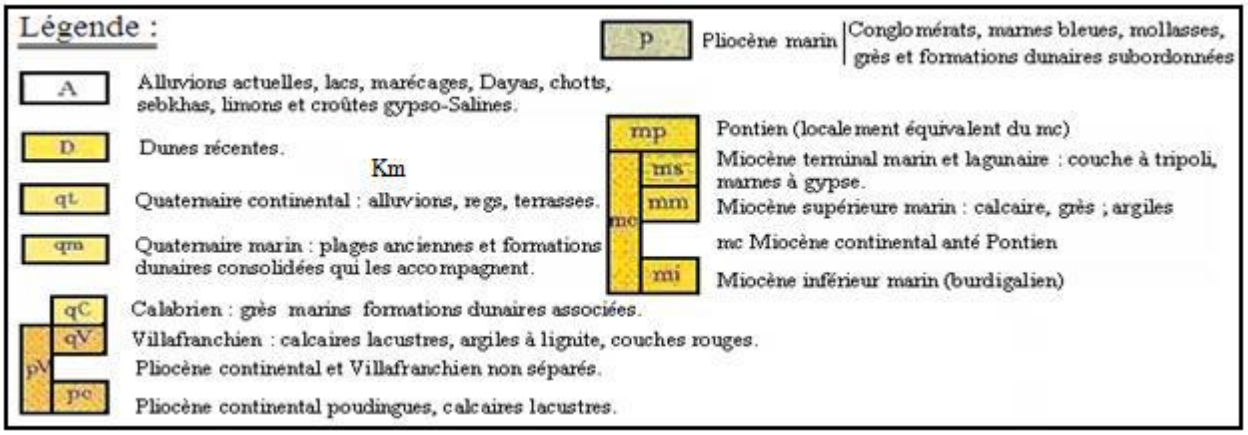
Type	Longueur (m)	Cumulée 1 (m)	Cumulée 2 (m)	X centre (m)	Y centre (m)	Rayon (m)	Pente (%)
DR	450.578	0.000	450.578				0 ,00
CE	44.443	450.578	495.021	450.578	20064.250	20000.000	
DR	1314.737	495.021	1809.754				0,222
CE	31.598	1809.754	1841.352	1665.316	65067.060	65000.000	
DR	3166.576	1841.352	5007.917				0,271
CE	54.165	5007.917	5062.082	5062.082	-19924.052	20000.000	
DR	2406.652	5062.082	7468.733				0 ,00
CE	31.034	7468.733	7499.767	7468.733	-34924.052	35000.000	
DR	1646.622	7499.767	9146.388				0,089
CE	70.356	9146.388	9216.744	9164.122	20074.466	20000.000	
DR	1254.669	9216.744	10471.409				0,263
CE	106.622	10471.409	10578.031	10524.031	-19922.094	20000.000	
DR	1791.905	10578.031	12369.929				0,27
Longueur totale de l'axe 12400 mètre(s)							

Listing Profil En Long Boucle

Type	Longueur (m)	Cumulée 1 (m)	Cumulée 2 (m)	X centre (m)	Y centre (m)	Rayon (m)	Pente (%)
DR	140.723	0.000	140.723				0,00
CE	118.559	140.723	259.280	140.723	10065.533	10000.000	
DR	705.856	259.280	965.087				1.186
CE	118.559	965.087	1083.643	1083.643	-9924.693	10000.000	
DR	26.974	1083.643	1110.617				0,00
Longueur totale de l'axe 1110 mètre(s)							

Carte géologique wilaya de Touggourt





Logs de sondages des caisses à carottes

SETI RAIL

RAPPORT DE FORAGE

LTPEST (D.R. Sétif)

SONDAGE: S_PS_0,8
X = 786 380
Y = 3 671 796
Z =

Projet: Campagne géotechnique de la voie ferrée
Endroit: Touggourt - Hassi Messaoud (sur 180 Km)

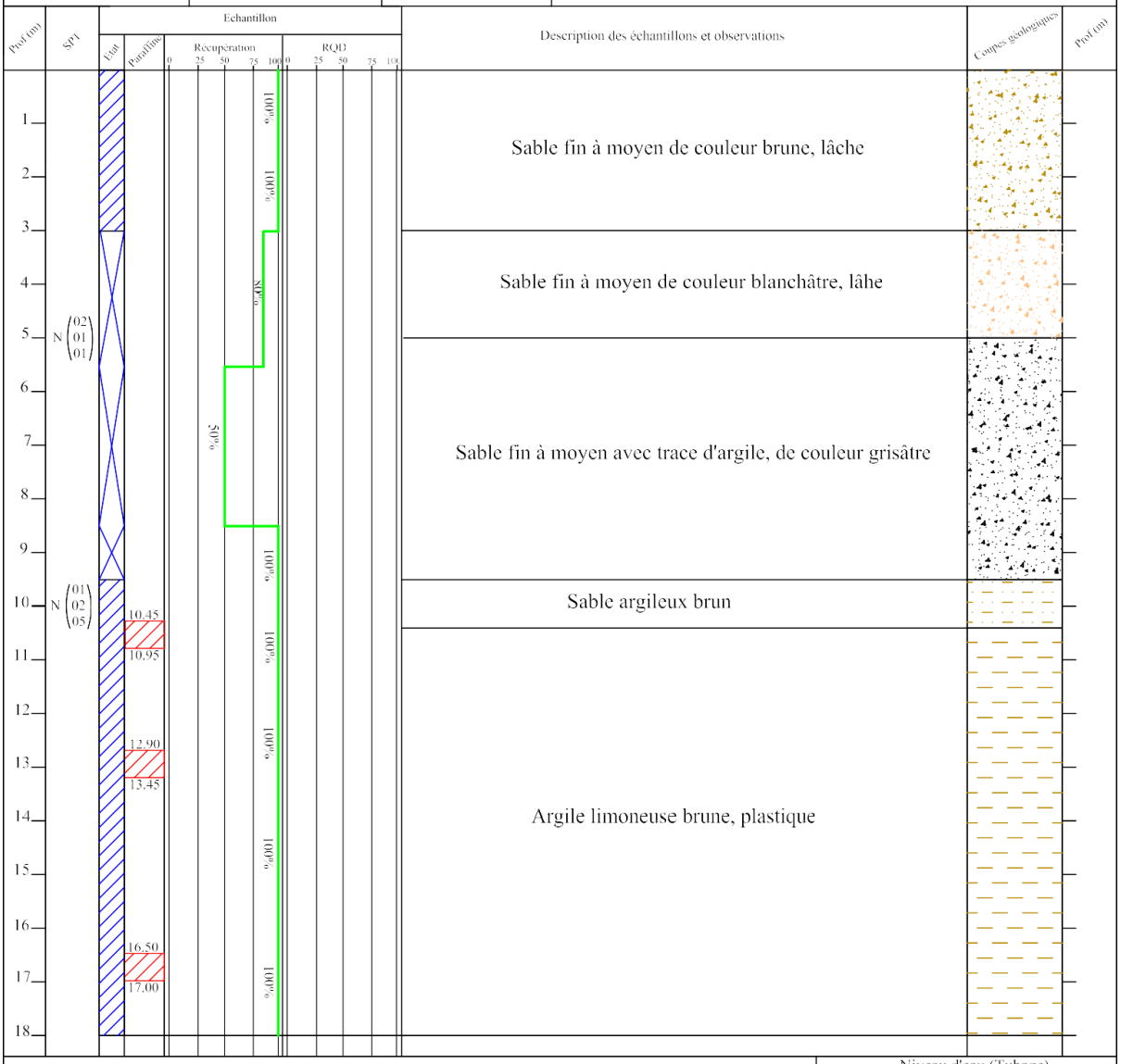
Date des travaux: 24/ 01/ 2010

Etats : Remanié, Intact, Perdu, C.R

Type : CF: Carottier Fendu ; TM: Tube Mince ; PS: A Piston ; CR: Carottier de Roc ; LA: Echantillon délavé ; PW: Carottier Lym_Fondatec

Essai : K: Perméabilité ; Y: Sciss. Intact ; K: Sciss. Remanié ; PA: Packer

Calibre	Méthode	Profondeur	Date



Remarques:

Niveau d'eau (Tubage)		
Date	Heure	Profondeur

SETI RAIL

RAPPORT DE FORAGE

LTPEST (D.R. Sétif)

Page 1 de 1

SONDAGE: S_PS_4,3
X = 784 855
Y = 3 668 679
Z =

Projet: Campagne géotechnique de la voie ferrée
Endroit: Touggourt - Hassi Messaoud (sur 180 Km)

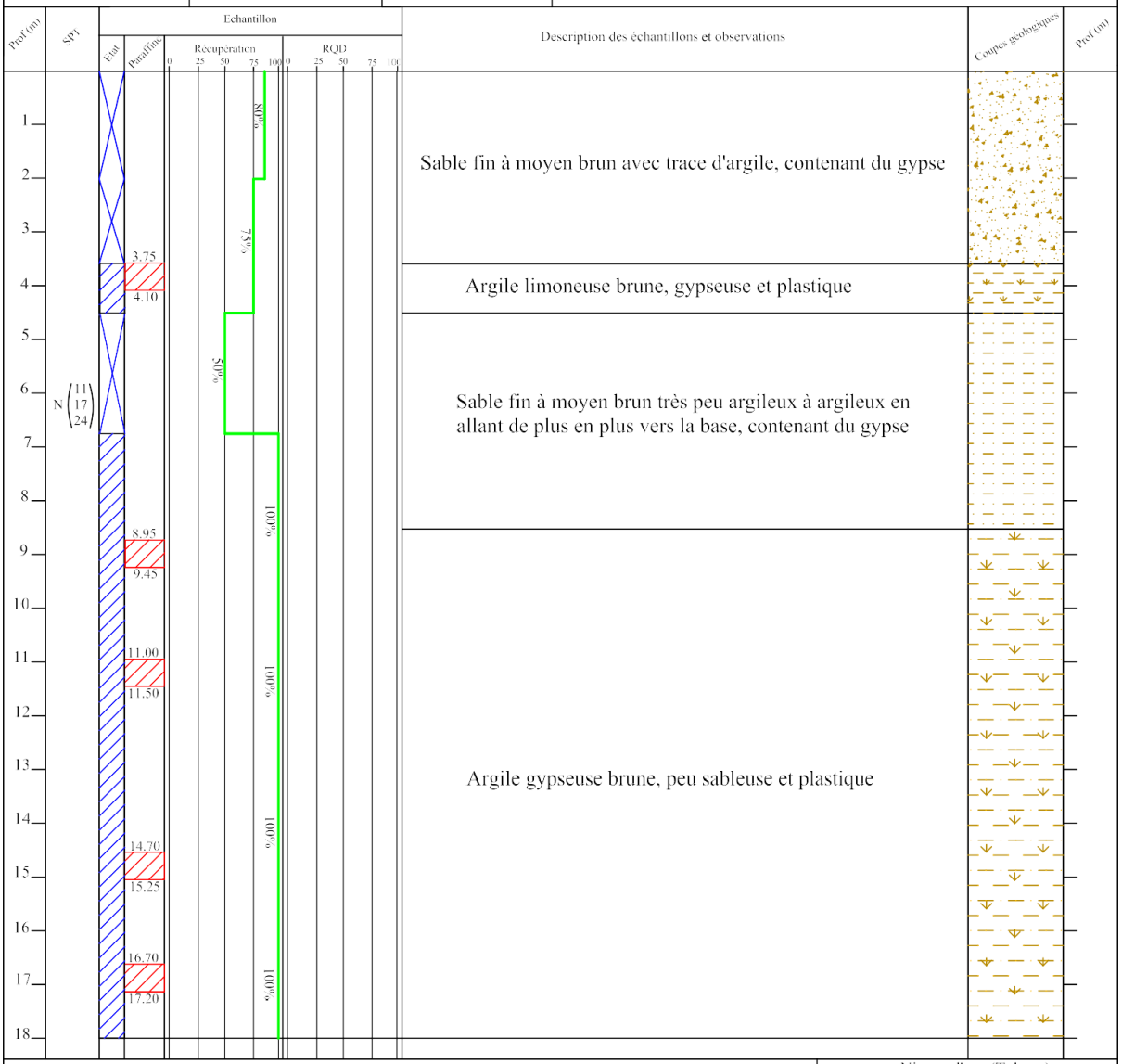
Date des travaux: 25/ 01/ 2010

Etats
- Remanié
- Intact
- Perdu
- C.R

Type
- CF: Carottier Fendu
- TM: Tube Mince
- PS: A Piston
- CR: Carottier de Roc
- LA: Echantillon délavé
- PW: Carottier Lym_Fondatec

Essai
- K: Perméabilité
- Y: Sciss. Intact
- K: Sciss. Remanié
- PA: Packer

Calibre	Méthode	Profondeur	Date



Remarques:

Niveau d'eau (Tubage)		
Date	Heure	Profondeur

SETI RAIL

RAPPORT DE FORAGE

LTPEST (D.R. Sétif)

SONDAGE: S_Gare_6,0
X = 784 181
Y = 3 667 133
Z =

Projet: Campagne géotechnique de la voie ferrée
Endroit: Touggourt - Hassi Messaoud (sur 180 Km)

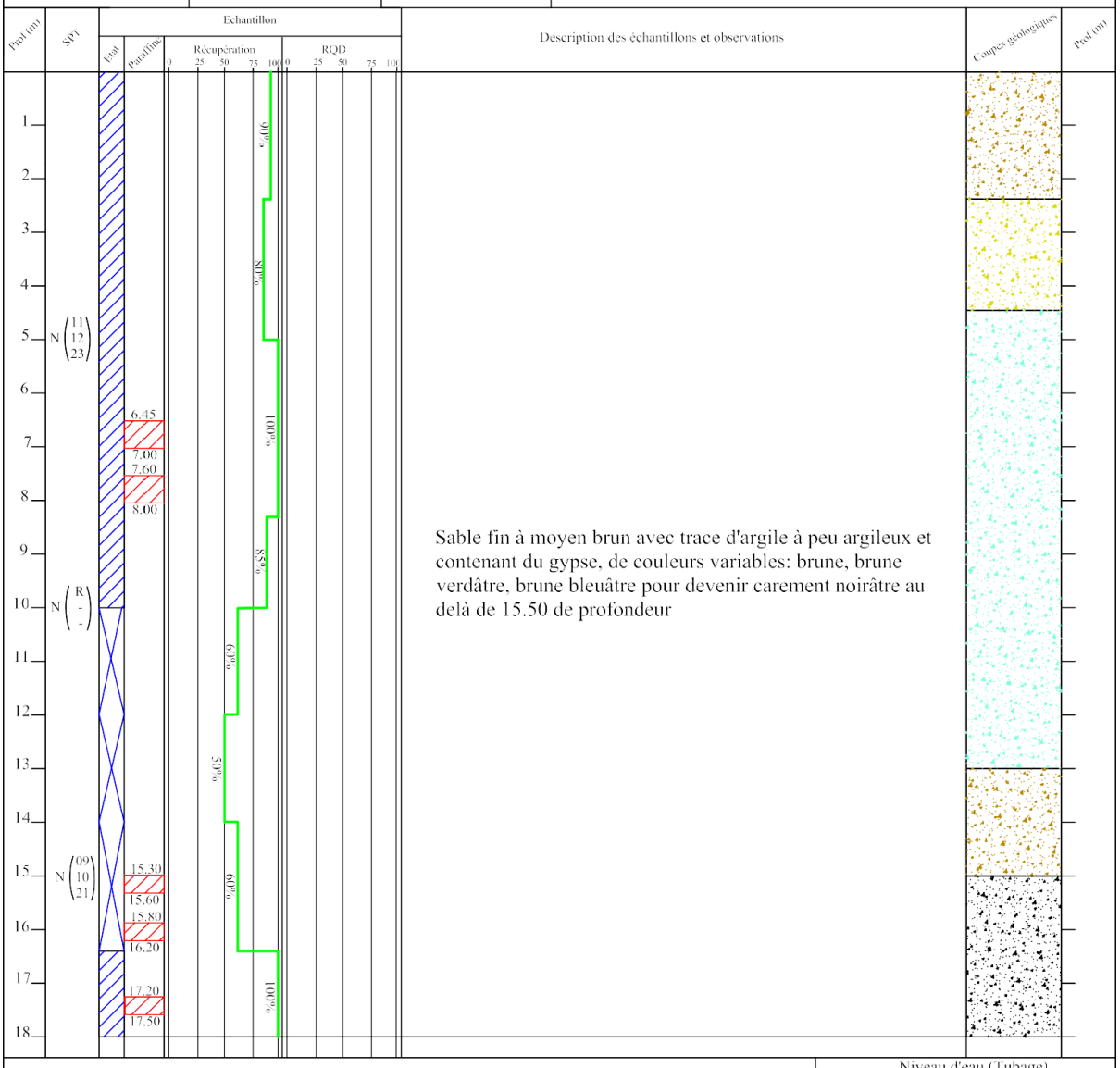
Date des travaux: 26/ 01/ 2010

Etats: Remanié; Intact; Perdu; C.R

Type: CF: Carottier Fendu; TM: Tube Mince; PS: A Piston; CR: Carottier de Roc; LA: Echantillon délavé; PW: Carottier Lym_Fondatec

Essai: K: Perméabilité; Y: Sciss. Intact; K: Sciss. Remanié; PA: Packer

Calibre	Méthode	Profondeur	Date



Remarques:

Niveau d'eau (Tubage)		
Date	Heure	Profondeur

SETI RAIL

RAPPORT DE FORAGE

LTPEST (D.R. Sétif)

Page 1 de 1

SONDAGE: S_Gaz_10,2
X = 782 510
Y = 3 663 312
Z =

Projet: Campagne géotechnique de la voie ferrée
Endroit: Touggourt - Hassi Messaoud (sur 180 Km)

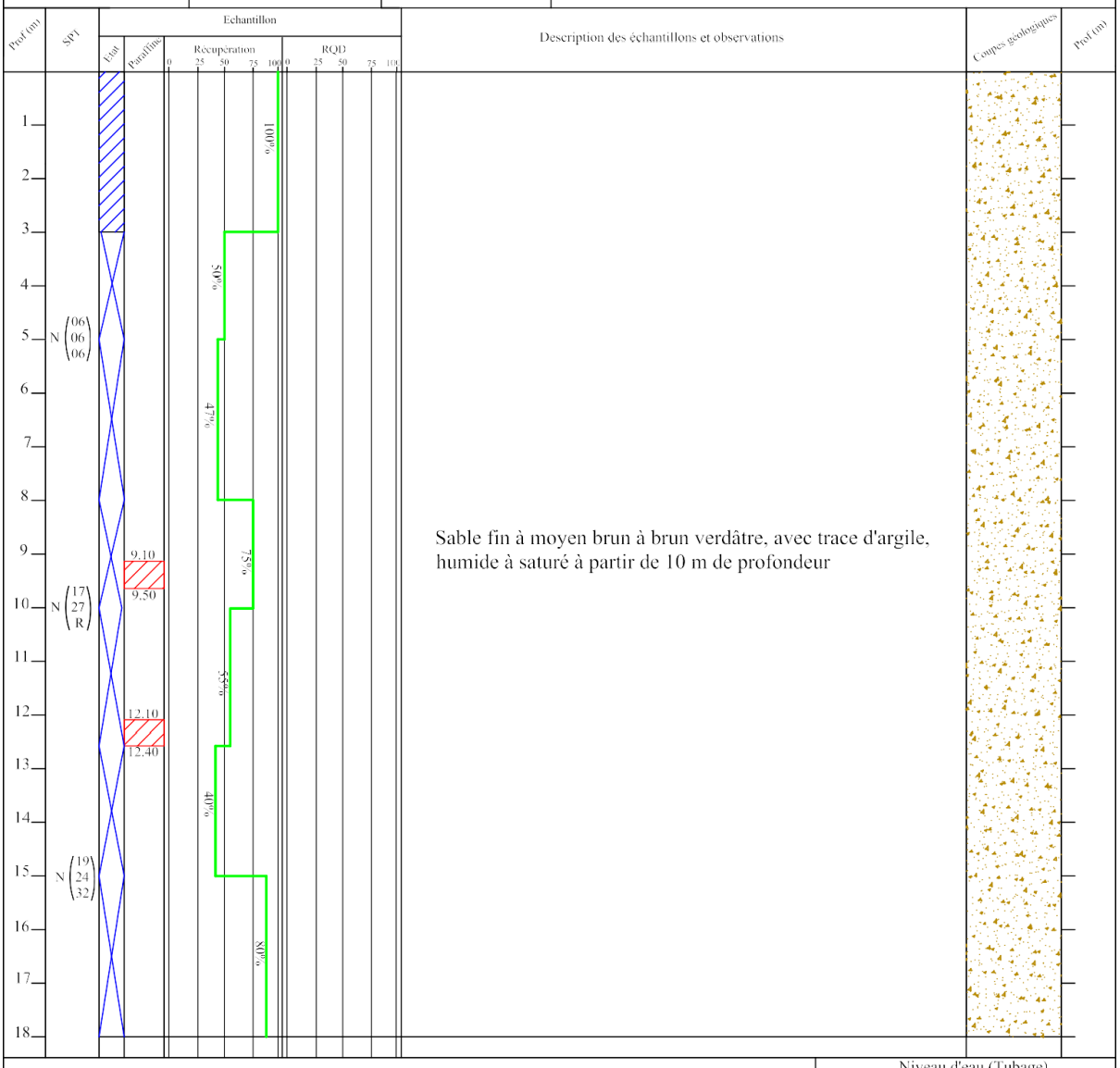
Date des travaux: 27/ 01/ 2010

Etats
- Remanié
- Intact
- Perdu
- C.R

Type
- CF: Carottier Fendu
- TM: Tube Mince
- PS: A Piston
- CR: Carottier de Roc
- LA: Echantillon délavé
- PW: Carottier Lym_Fondatec

Essai
- K: Perméabilité
- Y: Sciss. Intact
- K: Sciss. Remanié
- PA: Packer

Calibre	Méthode	Profondeur	Date



Remarques:

Niveau d'eau (Tubage)		
Date	Heure	Profondeur

Coupes de puits de reconnaissance

PROJET : Etude APD de la ligne électrifiée TOUGHOURT/HASSI MESSOUD **REFERENCE :** GIS/110009/AG-AG	**ENTREPRISE RÉALISANT LE PUITS :** INZAMAC ALGERIE **EQUIPEMENT D'EXCAVATION :** Pelle mécanique **PUISSANCE DE L'ÉQUIPEMENT (CV) :**	**TEMPS D'OUVERTURE DU PUITS (h) :** 1h **TAILLE DU PUITS: (long×larg×prof) (m) :** 3,00*1,00*2,80	**PUITS N°: E 1-1**
SITUATION DU PUITS (P.K.) : E-1 **DISTANCE À L'AXE DU TRACÉ (INDIQUER DROITE OU GAUCHE) :** ..... m **COORDONNÉES (X,Y,Z) :** - X = 783 951,252 - Y = 3 671 059,226 - Z =	**LONGUEUR DU BRAS (m) :** 6m **DATE DE LA RÉALISATION DU PUITS :** 08/09/2011	**NOM DU GÉOLOGUE :** ABDELMALEK BELKHEIRI	

Profondeur (m)	Profondeur du toit de la couche (m)	Épaisseur couche (m)	Orientation des : Direction de pendage (°)	Orientation des : Pendage (°)	Colonne stratigraphique	Description lithologique (1a)	Profondeur du niveau piézétique ou niveau hydrostatique (m) (6a)	Présence de restes anthropiques (6a)	Type d'excavation (S / ER) (1c)	Degré de dimensionnement (7a)	Résistance à l'excavation (6a)	Degré de stabilité des parois (6b)	Filtrations (6a)	Essai matière "in situ" (3a)	Consistance des argiles (Skempt. 1981) (2a)	Compacité, densité relative des sables (2b)
0,00		0,40				Sable des dunes jaunâtre										
0,50		2,40				sable fin beigeâtre avec des concrétions de gypse			ER	N	B	S	H			L
1,00																
1,50																
2,00																
2,50																
3,00																
3,50																
4,00																
4,50																
5,00																

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DU PUITS

Photo N° 01 :



Photo N° 02 :





Photo N° 03 :

PROJET : Etude APD de la ligne électrifiée TOUGHOURT/HASSI MESSOUD **REFERENCE :** GIS/110009/AG-AG	**ENTREPRISE RÉALISANT LE PUITS :** INZAMAC ALGERIE **EQUIPEMENT D'EXCAVATION :** Pelle mécanique **PUISSANCE DE L'ÉQUIPEMENT (CV) :**	**TEMPS D'OUVERTURE DU PUITS (h) :** 1h **TAILLE DU PUITS: (long*larg*prof) (m) :** 3,00*1,00*2,90	**PUITS N°: E 1-2**
SITUATION DU PUITS (P.K.) : E-1 **DISTANCE À L'AXE DU TRACÉ (INDIQUER DROITE OU GAUCHE) :** ..... m **COORDONNÉES (X,Y,Z) :** - X = 783 774,695 - Y = 3 670 327,777 - Z =	**LONGUEUR DU BRAS (m) :** 6m **DATE DE LA REALISATION DU PUITS :** 08/09/2011	**NOM DU GÉOLOGUE :** ABDELMALEK BELKHEIRI	

Profondeur (m)	Profondeur du toit de la couche (m)	Epaisseur couche (m)	Orientation des : Direction de pendage (°)	Orientation des : Pendage (°)	Colonne stratigraphique	Description lithologique (1a)	Profondeur du niveau piézotique nivel freatico (m) (6a)	Présence de restes archéologiques (6 a)	Type d'échantillon (B) / (ER) (1c)	Degré de dimentation (1a	Résistance à l'excavation (6a)	Degré de stabilité des parois (5a)	Fillabilité (4a)	Essai matériaux "in situ" (3a)	Consistance des argiles (SIRM, 1981) (2a)	Compacité, densité relative des sables (2c)
0,00		0,70				Argile marneuse brunâtre avec des concrétions de gypse										
0,50																
1,00		2,20				Sable-Limono-argileux rougeâtre à brunâtre avec des concrétions gypso-calcaires			ER	B	M	S	H			F
1,50																
2,00																
2,50																
3,00																
3,50																
4,00																
4,50																
5,00																

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DU PUITS

Photo N° 01 :



Photo N° 02 :





Photo N° 03 :

PROJET : Etude APD de la ligne électrifiée TOUGHOURT/HASSI MESSOUD **REFERENCE :** GIS/110009/AG-AG	**ENTREPRISE RÉALISANT LE PUITS :** INZAMAC ALGERIE **EQUIPEMENT D'EXCAVATION :** Pelle mécanique **PUISSANCE DE L'ÉQUIPEMENT (CV) :**	**TEMPS D'OUVERTURE DU PUITS (h) :** 1h **TAILLE DU PUITS: (long*larg*prof) (m) :** 3,00*1,00*2,80	**PUITS N°: E 1-3**
SITUATION DU PUITS (P.K.) : E-1	**LONGUEUR DU BRAS (m) :** 6m	**NOM DU GÉOLOGUE :** ABDELMALEK BELKHEIRI	
DISTANCE À L'AXE DU TRACÉ (INDIQUER DROITE OU GAUCHE) : ..... m	**DATE DE LA REALISATION DU PUITS :** 08/09/2011		
COORDONNÉES (X,Y,Z) : - X = 783 614,953 - Y = 3 669 545,883 - Z =			

Profondeur (m)	Profondeur du toit de la couche (m)	Epaisseur couche (m)	Orientation des		Colonne stratigraphique	Description lithologique (1a)	Profondeur du niveau piézotique / niveau hydrost (m) (6a)	Présence de venues artésiennes (6a)	Type d'échantillon (B / ER) (1c)	Degré de dimentation (1a	Résistance à l'excavation (6a)	Degré de stabilité des parois (3a)	Altérations (4a)	Essai Indice "in situ" (3a)	Consistance des argiles (USBR, 1981) (3c)	Compacité, densité relative des sables (2c)
			Direction de pendage (°)	Pendage (°)												
0,00		0,40				Sable des dunes jaunâtre										
0,50																
1,00		2,10				Sable limoneux jaunâtre à brunâtre avec des concrétions de gypse			ER	N	H	S	LH			D
1,50																
2,00																
2,50																
3,00																
3,50																
4,00																
4,50																
5,00																

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DU PUITS

Photo N° 01 :



Photo N° 02 :





Photo N° 03 :

PROJET : Etude APD de la ligne électrifiée TOUGHOURT/HASSI MESSOUD

REFERENCE : GIS/110009/AG-AG

ENTREPRISE RÉALISANT LE PUITS : INZAMAC ALGERIE

EQUIPEMENT D'EXCAVATION : Pelle mécanique

PUISSANCE DE L'ÉQUIPEMENT (CV) : .....

TEMPS D'OUVERTURE DU PUITS (h) : 1h

TAILLE DU PUITS: (long*larg*prof) (m) : 3,00*0,90*2,80

PUITS N°: E 2-1

SITUATION DU PUITS (P.K.) : E-2

LONGUEUR DU BRAS (m) : 6m

NOM DU GÉOLOGUE : ABDELMALEK BELKHEIRI

DISTANCE À L'AXE DU TRACÉ (INDIQUER DROITE OU GAUCHE) : ..... m

DATE DE LA RÉALISATION DU PUITS : 08/09/2011

COORDONNÉES (X,Y,Z) : - X = 783 103,955 - Y = 3 664 945,987 - Z =

Profondeur (m)	Profondeur du toit de la couche (m)	Épaisseur couche (m)	Orientation des : Direction de pendage (°)	Orientation des : Pendage (°)	Colonne stratigraphique	Description lithologique (1a)	Profondeur du niveau phréatique (m) (6a)	Présence de restes anthropiques (6a)	Type (Tarière) (6) / (ER) (1c)	Degré de cimentation (1a	Résistance à l'excavation (6a)	Degré de stabilité des parois (6a)	Filtration (4a)	Essai insitu "in situ" (3a)	Consistance des argiles (1999A, 1981) (2a)	Compacité, densité relative des sables (2c)
0,00																
		0,40				Sable des dunes jaunâtre										
0,50																
1,00																
1,50		2,40				Sable limono-argileux brunâtre avec des concrétions de gypse			ER	N	B	S	E			F
						Nappe d'eau à 1,80m										
2,00																
2,50																
3,00																
3,50																
4,00																
4,50																
5,00																

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DU PUITS

Photo N° 01 :



Photo N° 02 :





Photo N° 03 :

PROJET : Etude APD de la ligne électrifiée TOUGHOURT/HASSI MESSOUD

REFERENCE : GIS/110009/AG-AG

ENTREPRISE RÉALISANT LE PUITS : INZAMAC ALGERIE

EQUIPEMENT D'EXCAVATION : Pelle mécanique

PUISSANCE DE L'ÉQUIPEMENT (CV) : .....

TEMPS D'OUVERTURE DU PUITS (h) : 1h

TAILLE DU PUITS: (long×larg×prof)(m): 3,20*1,00*1,60

PUITS N°: E 2-2

SITUATION DU PUITS (P.K.) : E -2

LONGUEUR DU BRAS (m) : 6m

NOM DU GÉOLOGUE : ABDELMALEK BELKHEIRI

DISTANCE À L'AXE DU TRACÉ (INDIQUER DROITE OU GAUCHE) : ..... m

DATE DE LA REALISATION DU PUITS : 08/09/2011

COORDONNÉES (X,Y,Z) : - X = 782 522,486 - Y = 3 684 954,01 - Z =

Profondeur (m)	Profondeur du toit de la couche (m)	Epaisseur couche (m)	Orientation des : Direction de pendage (°)	Pendage (°)	Colonne stratigraphique	Description lithologique (%)	Profondeur du niveau piézométrique / niveau d'eau(m) (9-a)	Présence de restes anthropiques (9-b)	Type d'excavation (9) / (EP) (1c)	Degré de cimentation (7a)	Résistance à l'excavation (6a)	Degré de stabilité des parois (5-a)	Filtrations (4a)	Etalé relâché "in situ" (3a)	Consistance des argiles (EPM, 1991) (2a)	Compacité, densité relative des sables (2b)
0,00																
0,50		0,80				Sable jaunâtre très compact										
1,00		0,80				Sable fin argileux blanchâtre à brunâtre avec des concrétions de gypse			ER	M	TH	S	LH			D
1,50																
2,00						Impossible de creuser (terrain très dur)										
2,50																
3,00																
3,50																
4,00																
4,50																
5,00																

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DU PUITS

Photo N° 01 :



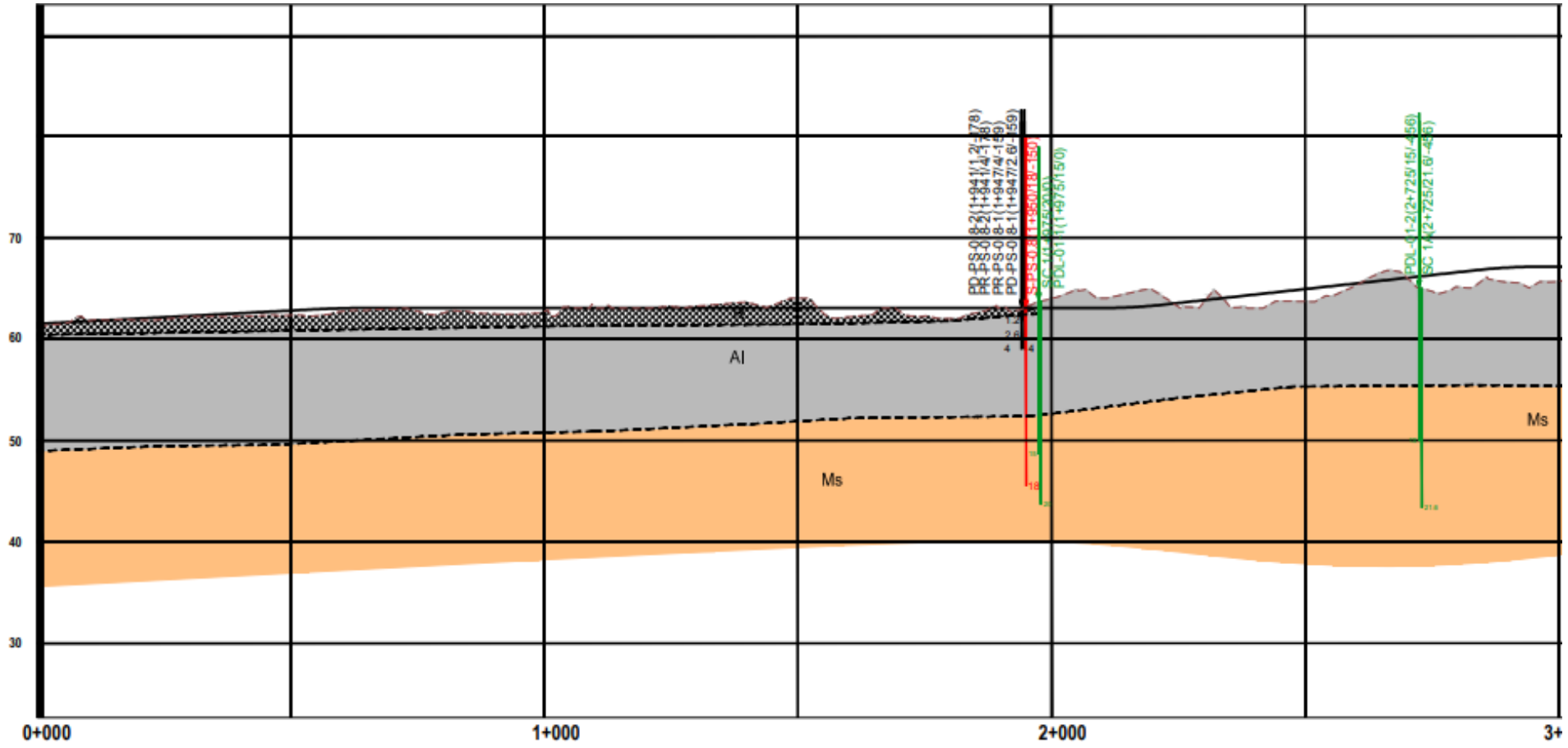
Photo N° 02 :



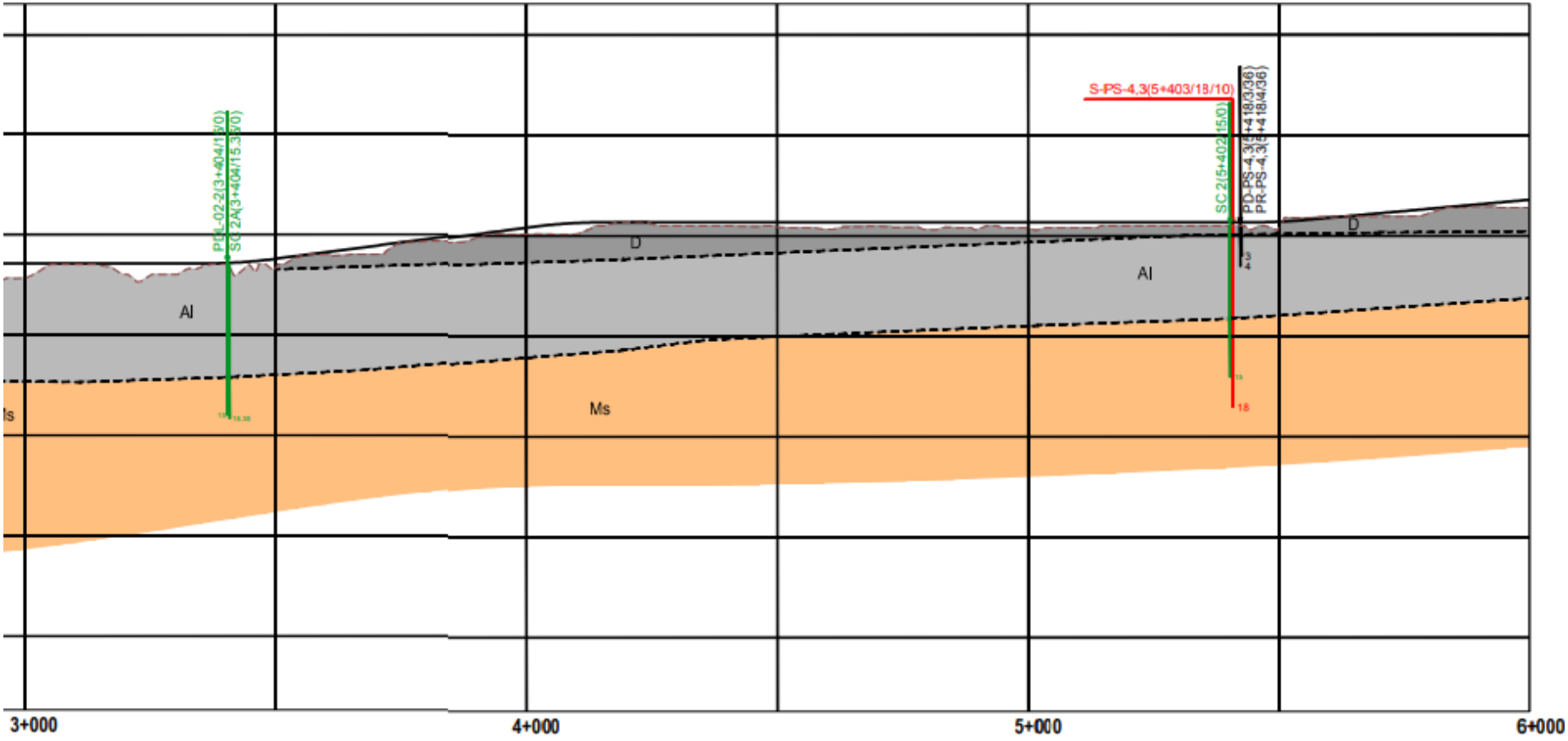


Photo N° 03 :

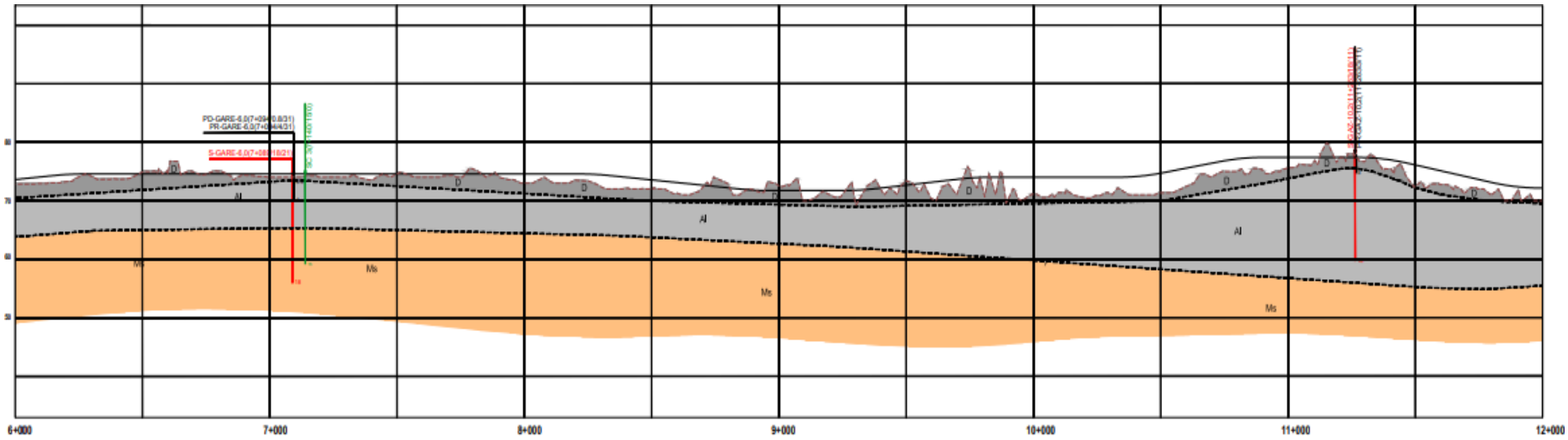
Profil géologique et géotechnique



Du Pk 0+000 au Pk 3+000



Du Pk 3+000 au Pk 6+000



Du Pk 6+000 au Pk 12+000

REMPLISSAGES

- Remplissages d'infrastructure

QUATERNAIRE

- D — Dunes actuelles. Holocène.
- A — Croûtes salines. Holocène.
- Asg — Sables avec gypse. Holocène.
- Al — Sables limoneux avec gypse. Holocène.
- Asc — Sables calcaires et localement grès. et conglomérats (grade d'alteration IV - V). (Recouvrement sur la formation Pcs et Pci)

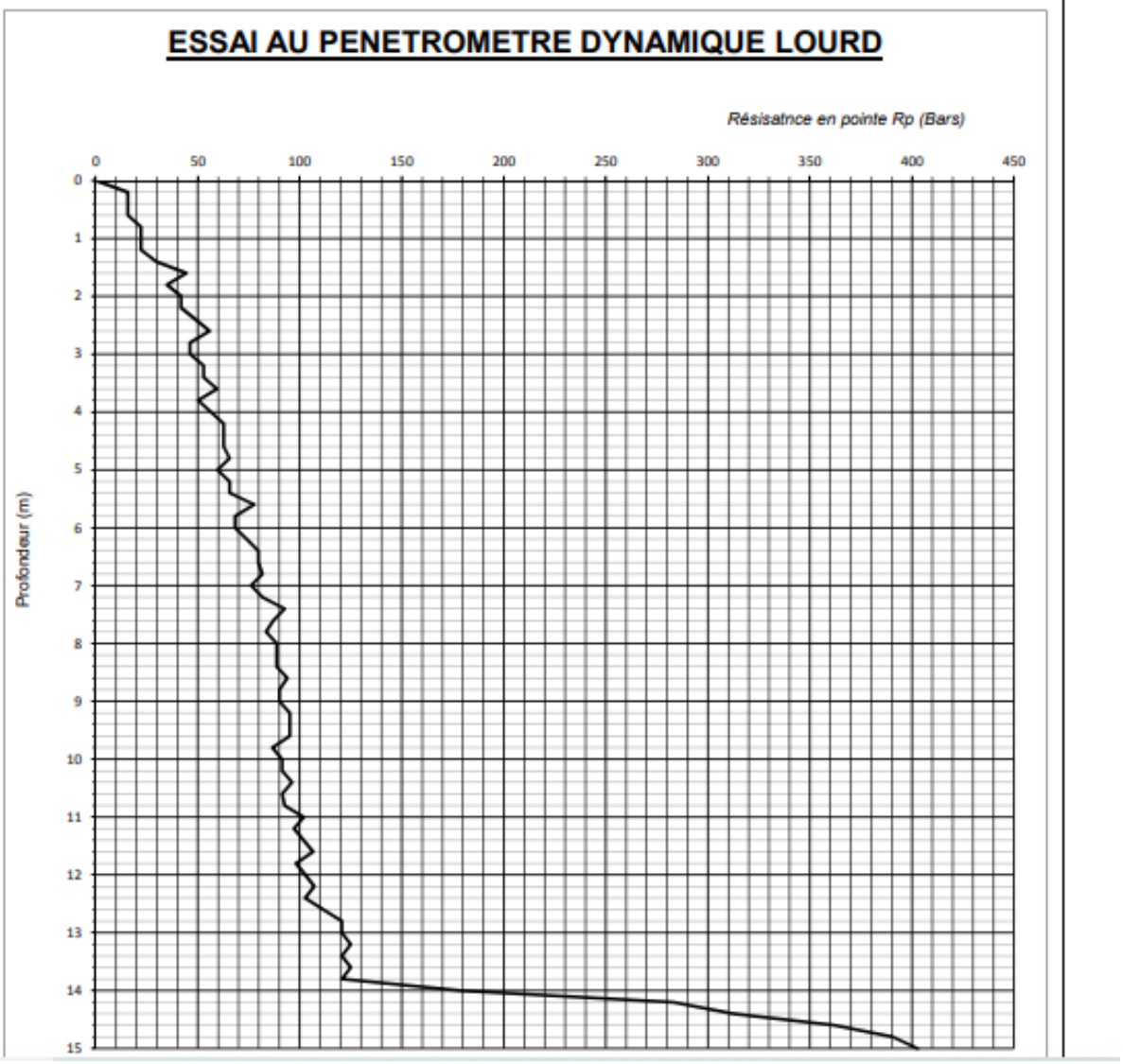
TERCIAIRE

- Pcs — Conglomérats calcaires, grès et sable.
- Pci — Sables fins à gros avec argiles, grès et limolites.
- Ms — Marnes gypseuses. Miocène supérieur.

Résultats des essais au pénétromètre dynamique lourd (PDL)

Date d'essai : *19 juillet 2011*	**N° sondage :** *PK 1+975*	**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur max :** *15,0 m*	**Machine :** *Rolstec RL48 - A.* **Poids du mouton :** *63 Kg.* **Hauteur de chute :** *75 Cm.* **Section de la pointe :** *19,63 cm².* **Longueur de la tige :** *1 m.*
Lieu : *TOUGGOURT - HASSI MESSOUD*	**Opérateur :** *Am*	
Projet : *NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIEE TOUGGOURT - HASSI MESSAOUD*	**Coordonnées :** *- X = 786 228* *- Y = 3 671 818*	

INZAMACALGERIE, sarl LOT 7/9 Ouled Belhad | Souala Alger - Tel 021 30976465 - Fax 021 30971 10 - Mail : inzamac@inzamac-dz.com



Classification UIC (extrait de IN 3278- Référentiel technique pour la réalisation des LGV)

Classification selon norme NF P 11 300		Etat Hydrique	Classe de qualité du sol en place				Sensibilité au gel
			S0	S1	S2	S3	
1.1 - Classe A : sols fins (exemple : limons, marnes, argiles, limons argileux, argiles sableuses, argiles limoneuses,…)							
A1	VBS ≤ 2,5 (ou Ip ≤ 12)	th	S0 →				SGt
		h	S0 →				
		m		S1 →			
		s		S1 →			
		ts	S0 →				
A2	12 < Ip ≤ 25 (ou 2,5 < VBS ≤ 6)	th	S0 →				SGt
		h	S0 →				
		m		S1 →			
		s		S1 →			
		ts	S0 →				
A3	25 < Ip ≤ 40 (ou 6 < VBS ≤ 8)	th	S0				SGt
		h	S0 →				
		m		S1 →			
		s		S1 →			
		ts	S0				
A4	Ip > 40 (ou VBS > 8)	th	S0				
		h	S0 →				
		m	S0 →				
		s	S0				
		ts	S0				

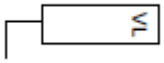
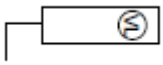
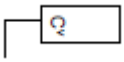
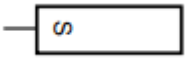
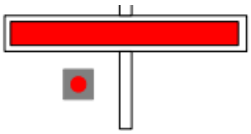
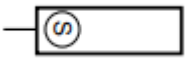
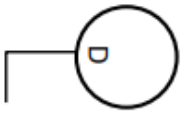
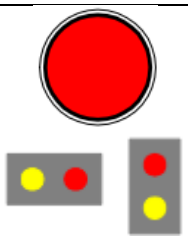
Tableau : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).

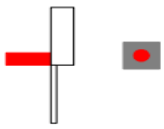
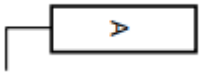
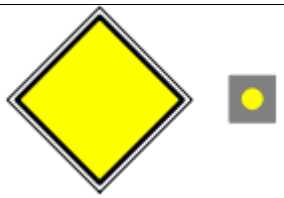
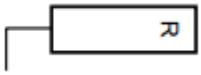
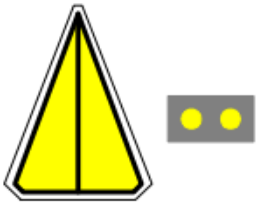
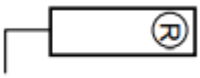
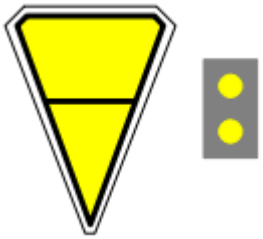
Facteur De Dimensionnement	Valeurs en (m)
E : dépend de la capacité portant de la plate-forme.	E=0.70m pour les plates-formes de classe de portance P1. E=0.55m pour les plates-formes de classe de portance P2. E=0.45m pour les plates-formes de classe de portance P3.
a : dépend des groupes de classification du trafic selon la norme UIC 714 R.	a=0 Pour les groupes UIC1et 2 (ou lignes à V>160 Km/h, quel que soit le groupe UIC). a= -0.05 m Pour les groupes UIC3et 4. a= -0.10 m Pour les groupes UIC5et 6.7,8,9 avec voyageurs. a= -0.15 m Pour les groupes UIC5et 6.7,8,9 sans voyageurs.
b : dépend du type de traverse et de sa longueur.	b =0 Pour les traverses bois de longueur 2.60m. b = $\frac{2.50-L}{2}$ Pour les traverses béton de longueur L (b peut être négatif si L > 2.50m).
c : dépend du cas de dimensionnement.	c = 0 pour un dimensionnement normal c = -0.10 à titre exceptionnel pour des opérations difficiles pour les lignes existantes de groupe UIC autre que "7.8 et 9 sans voyageur".
d : dépend. De la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués.	d = 0 Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN. d = + 0.05 Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. d = +0.12 Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f : dépend de la vitesse et de la portance de la plateforme.	f = 0 Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.

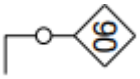
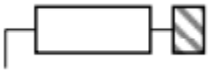
	f =+0.05 Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. f = +0.10 Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g : dépend de besoin d’utilisation d’un géotextile pour la couche de forme.	g = +0.01 géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS 1 ou QS2. g=0 lorsque la couche de forme est en sol QS3.

LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION

Tableau XIII. 1: les principaux signaux ferroviaires et leur indication dans BAPR.

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

Guidon d'arrêt 		Il commande l'arrêt différé après marche à vue.	
Signalisation d'annonce d'arrêt			
L'avertissement A 		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant ou les signaux d'arrêt annoncés.	
Le feu jaune clignotant (A) 		Commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal d'arrêt annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant	
Bande lumineuse jaune horizontale		Indiquer au mécanicien qu'il va entrer sur voie principale à quai courte ou raccourcie	
Signalisation de limitation de vitesse			
Ralentissement 30 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage correspondant.	
Ralentissement 60 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille correspondant.	
Rappel 30 		Le rappel 30 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30 km/h au franchissement de l'aiguillage.	

Rappel 60 		Le rappel 60 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguillage.	
TIV mobile à distance 		Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse indiquée par ce tableau, en km/h, au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant	
TIV de rappel 		confirme au mécanicien de ne pas dépasser ta vitesse indiquée par ce tableau, en km/h, au franchissement de l'aiguillage	
Pancartes Z et R		Repèrent s'il y a lieu, l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée.	 
Signaux utilisés pour les manœuvres			
Le feu blanc (M)		Commandant au mécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h; il autorise le départ en ligne.	
		Commandant au mécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h, mais sur un parcours	

		généralement de faible étendue ; il n'autorise pas le départ en ligne	
Limite de manœuvre «LM»		Pancarte limite la zone manœuvre	

CUBATURES

Cumulées	Surface Nette	Volume Nette	Volume Cumulé	DIF	Volume Cumulé
M	M2	M3	M3	M3	M3
	(1) Remblai	(1) Remblai	(1) Remblai		
	(2) Déblai	(2) Déblai	(2) Déblai	(1)-(2)	Végéta
0.00	0.00	0.00	0.0		
	10.56	131.99	132.0	-132.0	82.39
1000.00	12.67	316.77	2873.2		
	0.00	0.00	6472.0	-3598.8	6222.74
2000.00	42.50	1062.55	20835.1		
	0.00	0.00	7598.2	13236.9	11812.60
3000.00	2.69	67.34	32225.6		
	0.00	0.00	8805.9	23419.8	16865.27
4000.00	5.71	142.68	34066.3		
	0.00	0.00	17945.3	16121.0	23746.80
5000.00	36.34	598.05	53822.5		
	0.00	0.00	17945.3	35877.2	29287.18
6000.00	2.78	69.51	64020.1		
	31.42	785.54	26442.6	37577.5	37020.65
7000.00	7.24	180.88	65810.1		
	0.96	24.11	36102.7	29707.4	43976.07
8000.00	36.24	906.04	81030.8		
	0.00	0.00	37347.9	43683.0	49245.00
9000.00	33.56	839.02	124164.3		
	0.00	0.00	37421.4	86742.9	56279.52
10000.00	0.00	0.00	163490.8		
11000.00	53.63	1340.66	175199.8		
	0.00	0.00	47293.8	127906.1	69839.74
12000.00	29.88	746.89	235921.6		
	0.00	0.00	47293.8	188627.8	78118.62
12400	4.35	43.35	241872.4		
	11.57	115.31	47488.1	194384.4	79985.08
Cubatures boucle de raccordement					
1110	229	1134.92	87438.3		
	0	0	392.1	87046	14914.39