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

Mémoire

Pour l'obtention des diplômes d'Ingénieur d'État et de Master
Filière : Travaux Publics
Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique TOUGGOURT-HASSI MESSAOUD du PK 76+000 au PK 96+725 avec l'aménagement et la conception de la gare nouvelle ville Hassi-Messaoud.

Présenté par :

- REMITA Mourad
- REDJEM Oussama

Encadré par :

- DERRADJI Ayachi

Promotion 2022/2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIEMENTS

Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce projet et en particulier notre encadreur Mr Derradji pour sa disponibilité permanente, pour son aide et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet. Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Nous tenons à témoigner toute ma gratitude à Mr Boudjellal Mohamed, Mr Haddadou Tarek et Mr Ouali Hichem pour leur soutien, leur aide, leurs conseils avisés et pour le temps qu'ils nous ont consacré.

Nous aimons exprimer ma gratitude au service de scolarité DIB et en particulier Mme Makoudi et Mme Mehdia et tout le personnel de L'ENSTP.

Que tous ceux ou celles qui nous ont apportés leur soutien et qui nous ont aidé de loin ou de près pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos parents, nos familles et nos amis.

DECICACE

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

Je souhaite dédier humblement ce travail à ma très chère mère, qui a été à mes côtés lors des moments les plus difficiles de mon parcours éducatif. Elle a manifesté une détermination sans faille pour me permettre de surmonter les épreuves de ce monde et trouver ma voie, en m'offrant ses précieux conseils. Grâce à elle, j'ai pu développer mes compétences et rester motivé tout au long de ce périple.

Toutefois, je prie le Miséricordieux, qu'Allah, de lui accorder une récompense bien plus grande que celle que je pourrais lui offrir, car ma gratitude envers elle ne saurait être pleinement exprimée.

Et te protège et te garde en bonne santé.

Je souhaite dédier ce travail à mon père, qui a consacré sa vie pour me voir grandir et réussir dans mon parcours éducatif. Il a toujours été présent à mes côtés lors des moments difficiles de ma vie. Son soutien inconditionnel et sa présence constante ont été des piliers essentiels dans mon cheminement. Je lui suis infiniment reconnaissant pour tous les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation.

A Mon cher frère et à Mes chères sœurs.

A mon binôme et confrère : Redjem Oussama.

A tous mes Amis sans exception.

A toute la famille REMITA.

إهـــداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ والصلاة والسلام على رسوله الكريم محمد سيد الخلق أجمعين، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي وفقنا الى إتمام هدا المشروع البسيط.

إلى خالد الذكر، الذي وفاته المنيَّة هذا العام، وكان خير مثال لرب الأسرة، صاحب الوجه الطيب والسيرة العطرة والفكر المستنير والذي لم يتهاون يوما في توفير سبيل الخير والسعادة لي**أبي** نور عيني
أحمد سعيد (النوري) رحمة الله عليه
وإلى من وضع المولى عزوجل الجنة تحت قدميها، ووقَّرها في كتابه العزيز **أمي** الحبيبة **ربيعة ماجي**
وإلى جدتي الغالية التي فارقتنا هذا العام أيضا **أم السعد بن علي** رحمة الله عليها
وإلى من أعتمد عليهم في كل كبيرة وصغيرة اخوتي **محمد، بلال، ياسين ويونس**
وإلى عمتي وأختي الغالية **فاطمة** وكل عائلتي **رجم** و**ماجي**
وإلى صديقي ورفيقي الذي شاركت معه طيلة مسيرتي الجامعية ونتشارك في هذه المذكرة معا زميلي **مراد روميطة**
وإلى جميع أساتذتي الكرام وأصدقائي الأعزاء وكل عائلة المدرسة العليا للأشغال العمومية ممن لم يتوانوا في مد يد العون لي.

الـطـالـب: رجم أسـامـة

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud, et ce Du pk 76+000 au pk 96+725, pour un linéaire de 20 Km, notre projet s'étale aussi à l'aménagement de la gare de la nouvelle ville Hassi-Messaoud.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés (normes UIC), la modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel COVADIS16.

ملخص

هذا المشروع يتمثل اساسا في الدراسة المفصلة لقسم من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين تغورت وحاسي مسعود وتحديدا من النقطة الكيلومترية76+000 الى غاية النقطة725+ 96 على طول 20كم ويشمل المشروع ايضا تهيئة محطة حاسي مسعود المدينة الجديدة.

تحديد الخصائص التقنية الاكثر مناسبة لخط السكة الحديدية الجاري توقيعه سيستند الى التوجيهات المنصوح عليها وكذا التطبيقات المتابعة من قبل الشركة الوطنية للنقل عبر السكك الحديدية (ش.و.ن.س.ح) و كدا الأنظمة الأخرى الأكثر تحديثا و تطورا (نظام UIC), كما تم استعمال برنامج في النمدجة الهندسية للمشروع. COVADIS16

SUMMARY

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Touggourt-Hassi Messaoud (the section from Pk76+000 to Pk 96+725), with development of the station Hassi-Messaoud new city.

The identification of the most appropriate specifications for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices which are followed by SNTF (National Railway Transport Company) and other more developed rail systems UIC standards (International Federation of Railways), geometric modeling of the project was carried out under COVADIS16 softwar

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE……..…….....….....….1

I. L'ENSABLEMENT 2

I.1 Introduction : 2

I.2 Conséquence de l'ensablement : 2

I.3 L'ensablement : 2

I.3.1 La violence du vent : 3

I.3.2 La nature et l'état du sol : 3

I.3.3 L'état de la végétation : 4

I.4 La nature du mouvement des particules : 4

I.5 Procédés de lutte contre l'ensablement : 5

I.5.1 La lutte mécanique « La stabilisation mécanique des dunes » : 5

I.5.1.1 Système de protection des axes ferroviaires/routiers implantés en plein Erg : 5

I.5.1.2 Fixation physico-chimique (Technique du MULCH) : 6

I.5.1.3 Drâas ou les murs anti-sables : 7

I.5.1.4 Désensablement : 8

I.5.2 Fixation biologique : 8

I.6 Conclusion : 9

II. Recherche bibliographique 10

II.1 Introduction : 10

II.2 Histoire de chemin de fer en Algérie : 10

II.3 Réseaux ferroviaires algériens : 11

II.3.1 Rocade ferroviaire nord et ses dessertes : 12

II.3.2 Rocade ferroviaire des hauts plateaux : 12

II.3.3 Boucle Sud – Ouest : 12

II.3.4 Pénétrante Sud Est : 12

II.3.5 Pénétrante Ouest : 12

II.3.6 Pénétrante centre : 12

II.4 Avantage des chemins de fer : 13

III. Présentation du projet 15

III.1 Introduction : 15

III.2 Présentation du site : 15

III.2.1 Situation géographique : 15

III.2.2 Le relief : 16
III.2.3 Climat : 16
III.2.4 Sismicité : 16
III.3 Présentation du projet : 16
III.4 Caractéristiques du projet : 18
III.4.1 Caractéristiques de Base : 18
III.4.2 Caractéristiques de la Voie 18
III.5 Description du tracé : 18
IV. Superstructure de la voie 19
IV.1 Introduction : 19
IV.2 Caractéristiques d'une voie : 19
IV.3 Armement de la voie : 19
IV.3.1 Le rail : 20
IV.3.1.1 Le profil du rail : 20
IV.3.1.2 Les types des rails selon leur profil : 21
IV.3.1.3 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 : 22
IV.3.1.4 Ecartement et inclinaison des rails : 23
IV.3.1.5 Assemblage des rails : 23
IV.3.1.5.1 L'éclissage : 23
IV.3.1.5.2 La Soudure : 24
IV.3.2 Les traverse : 25
IV.3.2.1 Différents types de traverses : 25
IV.3.3 Les attaches : 26
IV.3.3.1 Type d'attaches : 26
IV.3.4 L'appareil de voie : 27
IV.4 Caractéristique de notre voie 29
V. Tracé en plan 30
V.1 Introduction : 30
V.2 Définition : 30
V.3 Conditions et règles de tracé : 30
V.4 Eléments de tracé en plan : 31
V.4.1 L'alignement : 31
V.4.2 L'arc de cercle : 31
V.4.3 La courbe de raccordement : 31
V.5 PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ : 31

V.5.1 Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin) : 31
V.5.2 LE Dévers : 32
V.5.2.1 Dévers théorique (d_{th}) : 32
V.5.2.2 Dévers pratique (d_p) : 32
V.5.2.3 Coefficient de dévers : 33
C = $\boldsymbol{Rmin * dmin1000}$ 33
V.5.3 Insuffisance de dévers (I) : 34
V.5.4 Excès de dévers (E) : 34
V.5.5 Gauchissement et variation du dévers : 34
V.5.6 Longueur minimum des éléments de tracé : 34
V.5.7 Variation d'insuffisance de dévers (dI/dt) : 34
V.6 Application au projet : 35
VI. Profil en long 38
VI.1 Introduction : 38
VI.2 Définition : 38
VI.3 Règles à respecter dans le tracé du profil en long : 38
VI.4 Les éléments de profil en long : 39
VI.5 Déclivité : 39
VI.5.1 Déclivité maximale : 39
VI.6 Rayon admissible en raccordement de profil en long : 40
VI.7 La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil : 41
VI.8 Application au projet : 41
VI.9 Les contraintes le long du tracé : 42
VI.10 Conclusion : 42
VII. Etude géotechnique et géologique 43
VII.1 Introduction : 43
VII.2 L'étude géologiques : 43
VII.2.1 Introductions : 43
VII.2.2 Géologie régionale : 43
VII.2.3 Géomorphologie : 44
VII.2.4 Contexte géologique de ce tronçon : 44
VII.2.5 Hydrogéologie : 44
VII.2.6 Sismicité de la région : 45
VII.3 Etude géotechnique : 45
VII.3.1 Plate-forme : 46

VII.3.1.1 Section déblais : 46
VII.3.1.2 Section remblais : 46
VII.3.1.3 Lot ouvrage d'art et bâtiment : 47
VII.3.2 Travaux de reconnaissance et compagne d'essai : 48
VII.3.2.1 Programme d'essai 48
VII.3.2.2 Sondage réalisé : 48
VII.3.2.3 Essai in situ : 48
VII.3.2.4 Résultats obtenus : 49
VII.3.3 Essai en laboratoire : 50
VII.3.3.1 Essais réalisés : 51
VII.3.3.2 Résultats des essais au laboratoire : 51
VII.4 Réutilisation des matériaux excavés : 53
VII.5 Conclusion : 53
VIII. Etude hydrologique et hydraulique 53
VIII.1 Introduction : 53
VIII.2 Objectifs de l'assainissement et du drainage : 53
VIII.3 Etude hydrologique : 53
VIII.3.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants : 54
VIII.3.1.1 Caractéristiques morphologiques : 55
VIII.3.2 Caractéristiques climatiques et pluviométriques : 55
VIII.3.2.1 Climat : 55
VIII.3.2.1.1 Les Températures : 55
VIII.3.2.1.2 Humidité de l'air : 56
VIII.3.2.1.3 Le Vent : 56
VIII.3.2.2 La pluviométrie : 56
VIII.3.2.2.1 Pluies annuelles : 56
VIII.3.2.2.2 Précipitations mensuelles : 57
VIII.3.2.2.3 Précipitations maximales journalières : 57
VIII.3.2.2.4 Les pluies de courte durée : 57
VIII.3.3 Le temps de concentration « tc » : 58
VIII.3.3.1 Formule de Ventura : (Superficie inférieure à 5 Km²) 58
VIII.3.3.2 Formule de PASSINI : (Superficie comprise entre 5 et 25 Km^2) 58
VIII.3.4 Calcul de l'intensité de pluie : 58
VIII.4 Les Zones inondables : 58
VIII.5 Calcul Hydraulique : 59

VIII.5.1 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) : 59
VIII.5.1.1 Méthodes utilisées : 59
VIII.5.2 Application au projet : 61
VIII.5.3 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle : 61
VIII.6 Etude d'assainissement : 62
VIII.6.1 Introduction : 62
VIII.6.2 Les ouvrages transversaux : 62
VIII.6.2.1 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal : 63
VIII.6.3 Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 65
VIII.6.3.1 Introduction : 65
VIII.6.3.2 Dimensionnement des fossés : 65
VIII.6.3.2.1 Application de notre projet : 66
VIII.7 Conclusion : 67
IX. Assise ferroviaire 68
IX.1 Introduction : 68
IX.2 Les couches d'assises : 68
IX.2.1 Le ballast : 68
IX.2.1.1 Rôle de la couche de ballast : 68
IX.2.1.2 Caractéristiques physico-mécaniques du ballast : 68
IX.2.1.2.1 Caractéristiques physiques : 68
IX.2.1.2.2 Caractéristiques mécaniques : 69
IX.2.2 La sous –couche : 69
IX.3 La plateforme (couche de forme) : 69
IX.3.1 Définition : 69
IX.3.2 Classe de qualité du sol composant la plateforme : 69
IX.3.3 Classe de portance de la plateforme : 70
IX.3.3.1 Plate- forme proposée : 70
IX.3.3.2 Couche de forme : 71
IX.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : 71
IX.5 Application à notre projet : 71
IX.6 Conclusion : 72
X. IX. Profile en Travers 73
X.1 Introduction : 73
X.2 Profile en travers : 73
X.2.1 Profil en travers types : 73

X.2.2 Profil en travers courant : 74
X.3 Les éléments du profil en travers : 74
X.4 Profile en travers type de notre projet : 74
X.4.1 Pleine voie : 75
X.4.2 La gare : 75
X.5 Calcul des cubatures : 75
XI. Terrassement et ouvrage 76
XI.1 Les terrassements : 76
XI.1.1 Etude de stabilité : 76
XI.1.1.1 Vérification de la stabilité des talus : 76
XI.2 Les ouvrages : 76
XI.2.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage : 77
XI.2.2 Croisement avec une route : 77
XI.3 Les ouvrages de notre projet : 77
XI.3.1 Rétablissements routiers : 77
XI.3.1.1 Piste à supprimer : 78
XI.3.2 Franchissement d'écoulement d'eau : 78
XI.3.3 Protections des conduites de gaz : 78
XII. Conception et aménagement de la gare 80
XII.1 Introduction : 80
XII.2 Type de gare : 80
XII.3 Etude du plan de masse d'une gare : 80
XII.4 Installations d'une gare à voyageur : 80
XII.5 Marge de glissement à l'aval des signaux : 81
XII.6 Garage franc : 81
XII.7 La longueur utile d'une voie de stationnement : 82
XII.8 Heurtoir : 82
XII.9 Les Quais : 82
XII.9.1 La longueur de quai (normes SNTF) : 82
XII.9.2 La largeur des quais : 83
XII.9.3 Hauteur des quais : 83
XII.9.4 La distance à l'axe de la voie : (Selon la norme UIC 741). 83
XII.9.5 L'entre axe des quais : 83
XII.10 CONCEPTION DE LA GARE DE PROJET : 84
XII.10.1 Application au projet : 84

XII.10.2 Gare de Croisement : 86
XII.10.3 Assainissement dans les gares : 86
XII.10.3.1 Assainissement transversale : 86
XII.10.3.2 Assainissement longitudinal : 86
XII.11 Conclusion : 86
XIII. Signalisation ferroviaire 87
XIII.1 Introduction : 87
XIII.2 Types de signalisation : 87
XIII.2.1 Signalisation mécanique : 87
XIII.2.2 Signalisation lumineuse : 87
XIII.3 Emploi et rôle de la signalisation : 87
XIII.4 Fonctions des signaux : 87
XIII.5 Implantation des signaux : 88
XIII.6 Cantonnement : 88
XIII.7 Système de signalisation ERTMS : 89
XIII.8 Application sur notre projet : 89
XIV. Impact sur l'environnement 91
XIV.1 Introduction : 91
XIV.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement : 91
XIV.3 Analyse De L'état initial : 91
XIV.3.1 Milieu physique : 91
XIV.3.1.1 Situation de la zone d'étude : 91
XIV.3.1.2 Climat : 91
XIV.3.1.3 Géologie et lithologie : 91
XIV.3.1.4 Hydrologie et hydrogéologie : 91
XIV.3.1.5 Qualité de l'air : 92
XIV.3.2 Habitats et biodiversité : 92
XIV.3.2.1 Végétation Et Flore : 92
XIV.3.2.2 La Faune : 92
XIV.3.3 Milieu humain : 92
XIV.3.3.1 Population : 92
XIV.3.3.2 Agriculture : 92
XIV.3.3.3 Profil socio-économique : 92
XIV.4 Evaluation des impacts : 93
XIV.4.1 Les impacts négatifs : 93

XIV.4.1.1 Effets sur les ressources naturelles et sur les écosystèmes : 93
XIV.4.1.1.1 Qualité de l'air : 93
XIV.4.1.1.2 L'eau : 93
XIV.4.1.1.3 La faune et la flore : 93
XIV.4.1.2 Impacts sonores : 93
XIV.4.1.2.1 Le bruit : 93
XIV.4.1.2.2 Les vibrations : 94
XIV.4.2 Impacts positifs : 94
XIV.5 Les mesures prises pour minimiser les impacts : 94
XIV.5.1 Sur la qualité de l'air : 94
XIV.5.2 Impacts sur l'eau : 94
XIV.5.3 Impacts sur la flore : 95
XIV.5.4 Impacts sur la faune : 95
XIV.5.5 Milieu sonore : 95
XIV.5.6 Réduction des vibrations dans la gare nouvelle ville Hassi-Messaoud : 95
XIV.6 Conclusion : 96
XV. Devis estimatif et quantitatif 97
CONCLUSION GENERALE ……..…..…96

ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III-1 Fiche technique de notre tracé..... 18
Tableau V-1 vitesse des trains maximale..... 31
Tableau V-2 Valeurs limites du dévers..... 33
Tableau V-3 Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)..... 35
Tableau V-4 Tableau récapitulatif des paramètres du tracé..... 37
Tableau VI-1 Valeurs de Rayon vertical minimale..... 41
Tableau VI-2 La longueur minimale des déclivités..... 41
Tableau VI-3 Récapitulatif des paramètres de profil en long (SNTF)..... 42
Tableau VII-1 programme géotechnique des sections en déblai. 46
Tableau VII-2 programme géotechnique des sections en remblai. 47
Tableau VII-3 programme géotechnique pour le bâtiment voyageur.. 47
Tableau VII-4 les résultats de l'essai carottage.. 49
Tableau VII-5 Résultats et nature lithologique des puits de reconnaissance..... 49
Tableau VII-6 Résume des essais de pénétration dynamique effectués 50
Tableau VII-7 Résultats des essais en laboratoire 51
Tableau VII-8 Résultats des essais en laboratoire 52
Tableau VII-9 quantité d'éléments chimiques dans le sol. 52
Tableau VIII-1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants 55
Tableau VIII-2 températures moyennes mensuelles (Source ONM)..... 55
Tableau VIII-3 Humidités relatives mensuelles en % (Source ONM). 56
Tableau VIII-4 vitesses du vent mensuelles en m/s (Source ONM).. 56
Tableau VIII-5 pluies annuelles (mm)..... 56
Tableau VIII-6 répartition des pluies mensuelle station de Touggourt (Source ANRH) 57
Tableau VIII-7 pluies maximales journalières (mm).. 57
Tableau VIII-8 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle..... 61
Tableau VIII-9 Vérification hydraulique des ouvrages transversaux..... 64
Tableau VIII-10 débit apport cas déblai. 66
Tableau VIII-11 dimensionnement du fossé proposé..... 67
Tableau IX-1 la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)..... 70
Tableau XI-1 Liste des ouvrages d'art pour notre projet..... 77

Tableau XI-2 : liste des dalots..... 78
Tableau XII-1 les caractéristiques d'appareils de voie..... 85
Tableau XII-2 implantation des ADV 85
Tableau XV-1 devis quantitatif estimatif. 97
Tableau XV-2 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication..... 84

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 La vitesse du vent en fonction de l'altitude V= f(H) (extrait de Henin et al., 1960)..... 3
Figure I-2 les modes d'entraînement des particules per le vent. (Source : Lemoine, 1996) 4
Figure I-3 Conception et disposition d'un dispositif de stabilisation des palmes 5
Figure I-4 exemple concret d'un dispositif expérimental de stabilisation des grosses dunes (30 à 40 m de hauteur) sur le tracé routier (El Oued Souf vers Robbah)..... 5
Figure I-5 Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie 7
Figure I-6 Conception et disposition des Drâas en chicane. 8
Figure I-7 Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel..... 8
Figure II-1 les réseaux ferroviaires en Algérie (1942) 11
Figure II-2 Le programme ferroviaire national. (Source : SNTF)..... 13
Figure III-1 Carte de situation géographique de la wilaya de Ouargla. 15
Figure III-2 Pénétrante Est. (Source : ANESRIF)..... 17
Figure III-3 Localisation du projet..... 17
Figure IV-1 Les éléments de la superstructure 19
Figure IV-2 les constituant de la section transversal de rail..... 20
Figure IV-3 Rail à gorge. 21
Figure IV-4 Rail à double champignon. 21
Figure IV-5 Le rail Vignole (UIC 60) 21
Figure IV-6 Profil rail du type UIC60 E1 22
Figure IV-7 Ecartement et inclinaison des rails. 23
Figure IV-8 L'éclissage. 23
Figure IV-9 Soudure aluminothermique de deux barres de rails soudés. 24
Figure IV-10 Appareil de dilatation 25
Figure IV-11 Les traverses utilisées dans le projet. 26
Figure IV-12 Travers en bois..... 26
Figure IV-13 les types des attaches. 27
Figure IV-14 les composantes d'attache type nabla..... 27

Figure IV-15 Un branchement et ses éléments constitutifs. (Source : SNCF 2003, IN2915) 28
Figure IV-16 UIC 60 1/12-500..... 29
Figure IV-17 UIC 60 1/9-300 29
Figure V-1 Eléments géométriques du tracé en plan 31
Figure V-2 Définition du Dévers..... 32
Figure V-3 Schéma de raccordement de devers..... 33
Figure VI-1 Eléments géométriques du profil en long. 39
Figure VI-2 Les valeurs maximales de déclivité de profile en long (source : SNTF) 40
Figure VII-1 Situation de la zone d'étude 43
Figure VII-2 Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe 45
Figure VII-3 Zone sismique en Algérie 45
La zone d'étude se situe au Sud-est de l'Algérie, et fait partie du bassin versant du Sahara codé (13) d'après le classement de l'ANRH (Figure VIII-1) ; ce dernier appartient à l'unité hydrogéologique du Sahara Septentrionale qui s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassilis au sud sur une superficie de 720 000 Km² et dont une grande partie est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km²..... 53
Figure VIII-2 Situation géographique du projet..... 53
Figure VIII-3 délimitation des bassins versants..... 54
Figure VIII-4 zone inondable du Pk 77+050 au Pk 77+100 et du pk 77+700 au pk 77+750 et du pk+83+700 au pk 84+200 et du pk 86+500 au pk 87+500 59
Figure VIII-5 fossé trapézoïdale. 65
Figure X-1 profil en travers types (double voie). 73
Figure XI-1 Exemple d'un ouvrage de protection. 78
Figure XII-1 Schématisation de la marge de glissement..... 81
Figure XII-2 garage franc. 82
Figure XII-3 longueur utile..... 82
Figure XII-4 la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie . 83
Figure XII-5 Schéma de l'appareil de voie..... 84
Figure XIII-1 schéma illustratif de canton..... 88
Figure XIV-1 Digue antibruit et élément de construction formant l'écran. 95

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Les infrastructures de transport sont un élément primordial pour garantir la liberté de déplacement des personnes et des biens, ainsi que pour assurer le fonctionnement et le développement de l'économie. Leur réalisation qui est une partie importante de l'aménagement du territoire, nécessite le plus souvent des investissements très lourds.

L'Algérie est l'un des pays qui donne une grande importance aux infrastructures ferroviaires dont le but est la modernisation et le développement du pays, depuis leur création les chemins de fer n'ont pas cessé de s'étendre non seulement en Algérie mais dans le monde entier.

Vu la superficie énorme de l'Algérie (2,5 millions de km²) donc le développement d'un réseau ferroviaire capable de satisfaire les besoins du pays était plus que nécessaire donc l'Algérie a bénéficié de plusieurs programmes de réalisation de nouvelles lignes, l'extension des lignes existantes pour l'amélioration des débits de lignes. Aujourd'hui, ce type de transport est diversifié Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées.

L'Algérie a réussi à développer son réseau des chemins de fer en agissant d'une manière optimiste suivant des programmes de développement bien étudiés. Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 560 km.

Le gouvernement a inclus dans ses projets nationaux de développement ferroviaire la construction d'une nouvelle ligne de chemin de fer de 150 km reliant Touggourt à Hassi Messaoud. Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous allons réaliser une étude en phase d'avant-projet détaillé sur un tronçon de 20 km, allant du point kilométrique 76+000 au point kilométrique 96+725. Cette étude comprendra également la conception de la gare voyageurs de la nouvelle ville de Hassi Messaoud, située au point kilométrique 95+925.

Le mémoire s'articule sur les aspects suivants :

- Etude de phénomène de l'ensablement.
- Histoire des chemins de fer en Algérie.
- Présentation du projet.
- Superstructure de la voie.
- Étude géométrique : tracé en plan, profils en long et en travers.
- Dimensionnement des ouvrages hydrauliques issus de l'étude hydrologique et Hydraulique.
- Étude géotechnique et leur application dans la stabilité des pentes, et dimensionnement de la structure d'assise.
- La conception de la gare de Hassi Messaoud nouvelle ville.
- Signalisation et l'étude de l'impact sur environnement.
- Finalisant notre travail avec un devis quantitatif et estimatif.

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : ETUDE DE L'ENSABLEMENT

I. L'ENSABLEMENT

I.1 Introduction :

Le phénomène d'ensablement est une conséquence remarquable de la désertification, il affecte actuellement une superficie d'environ de 56% de la superficie totale du pays selon les estimations basées sur les images satellites. Cela représente un défi majeur auquel le gouvernement algérien fait face depuis de nombreuses années, en investissant des ressources financières importantes dans la mise en œuvre de divers programmes de lutte contre l'ensablement et de fixation des dunes. Cependant, il est nécessaire d'apporter des ajustements afin d'améliorer l'efficacité des techniques utilisées.

Le sud de l'Algérie est caractérisé par un climat désertique avec des vents forts et des précipitations limitées c'est le cas de la région de l'Oued Righ. Ces conditions naturelles favorisent le transport de particules de sable sur de longues distances et leur dépôt dans les zones basses et les dépressions du terrain. Au fil du temps, ces accumulations de sable peuvent engendrer l'ensablement, ce qui constitue un obstacle majeur pour les infrastructures ferroviaires.

La question de l'ensablement revêt une importance primordiale dans le développement des régions arides et semi-arides du pays. Il est crucial d'identifier les techniques les plus efficaces et de proposer des solutions fiables et économiquement abordables pour lutter contre l'ensablement. Ces solutions doivent être mises en œuvre de manière à répondre aux besoins socio-économiques des populations locales et contribuer à la lutte contre la désertification.

I.2 Conséquence de l'ensablement :

L'ensablement peut causer des problèmes tels que :

- l'obstruction des voies ferrées,
- la réduction de la visibilité,
- l'endommagement des équipements et leur détérioration,
- Risque de déraillement et déviation hors la voie.

I.3 L'ensablement :

Il y a ensablement lorsque les grains de sable sont transportés par les vents et s'accumulent sur le littoral, au bord des cours d'eau et sur des terres cultivées ou incultes. En se déplaçant, les accumulations de sable (dunes) ensevelissent les villages, routes, oasis, cultures, jardins maraîchers, canaux d'irrigation et barrages, entraînant ainsi des dégâts matériels et socio-économiques très importants.

Des programmes de lutte contre l'ensablement doivent alors être mis en œuvre pour endiguer la gravité de cette situation.

Pour établir ces programmes, il est essentiel de connaître les facteurs et de comprendre les processus qui favorisent la formation et le déplacement des masses sableuses, à savoir **le vent et le sol.**

I.3.1 La violence du vent :

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-1).

Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au-dessus du sol, atteint ou dépasse 6 m par seconde. 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.

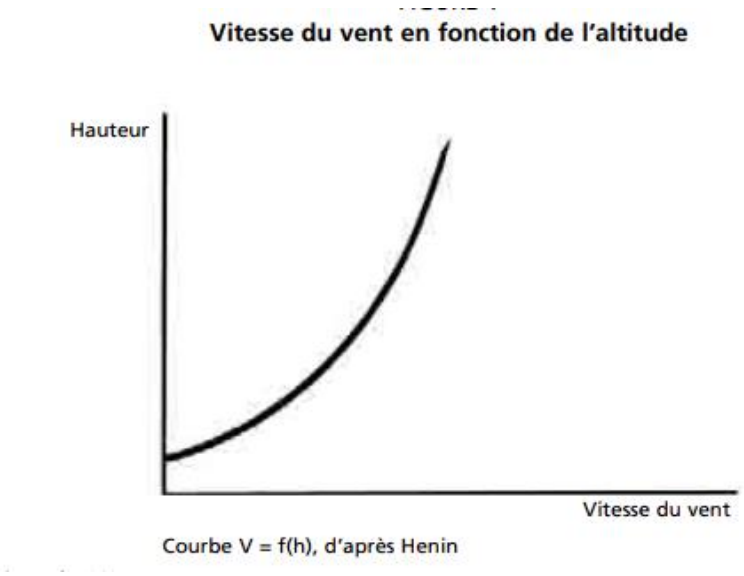


Figure I-1 La vitesse du vent en fonction de l'altitude V= f(H).[1]

I.3.2 La nature et l'état du sol :

L'érosion éolienne est la conséquence de l'attaque du sol par le vent. Cette érosion se produit si le sol présente les particularités suivantes :

- il est meuble, sec et finement émietté ;
- il a une surface uniforme, dépourvue d'obstacles naturels ou artificiels ;
- la couverture végétale est rare ou inexistante ;
- il couvre une zone suffisamment étendue, allongée dans le sens du vent.

Les sols desséchés durant une longue période sont surtout présents dans les zones arides et semi-arides là ou l'érosion éolienne sera plus grave.

I.3.3 L'état de la végétation :

La végétation joue un rôle crucial en maintenant l'intégrité de la couche supérieure du sol. Elle agit comme une barrière contre l'érosion éolienne en retenant les particules du sol et en empêchant les avalanches. En outre, elle constitue une protection efficace contre les effets nuisibles du vent. C'est pourquoi les régions arides et semi-arides, où la végétation naturelle (arbres, arbustes et herbes) est clairsemée, rabougrie ou absente, et où les précipitations sont faibles et irrégulières, sont particulièrement vulnérables à l'érosion éolienne.

De plus, l'exploitation irrationnelle de ces formations végétales à croissance lente entraîne une dégradation rapide du sol, qui devient alors exposé aux vents car il perd sa protection végétale.

I.4 La nature du mouvement des particules :

La nature du mouvement des particules varie selon leur dimension (figure I-2).

- 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.

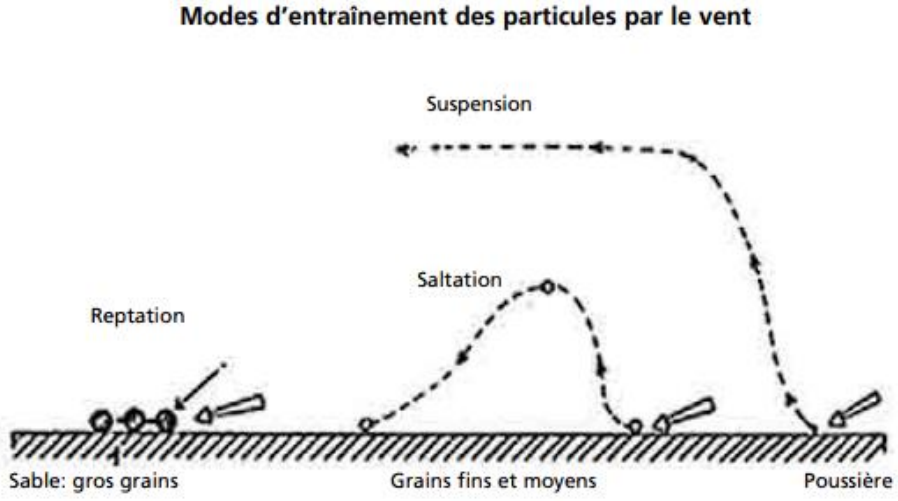


Figure I-2 les modes d'entraînement des particules per le vent.[2]

I.5 Procédés de lutte contre l'ensablement :

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

I.5.1 La lutte mécanique « La stabilisation mécanique des dunes » :

La stabilisation mécanique est souvent considérée comme une étape préalable indispensable à la fixation durable des sables mobiles et des dunes à court et moyen terme. Elle consiste à empêcher le déplacement du sable pendant une période suffisamment longue pour permettre l'établissement de la végétation.

Dans le cas de projet on propose les techniques suivantes :

I.5.1.1 Système de protection des axes ferroviaires/routiers implantés en plein Erg :

Un dispositif expérimental de stabilisation des dunes est mis en place à 10 km d'EL – Oued vers Robbah. Deux segments de la même section routière de 200 à 400 m traités selon deux techniques différentes (Figure I-3 et I-4).

Sur le premier segment (côté Est de la route), la route est protégée par des édifices successives de palissades parallèles à l'infrastructure à protéger (1). Sur l'autre segment (côté Ouest), une orientation systématique de palissades parallèles à la direction du vent dominant est nécessaire (2).

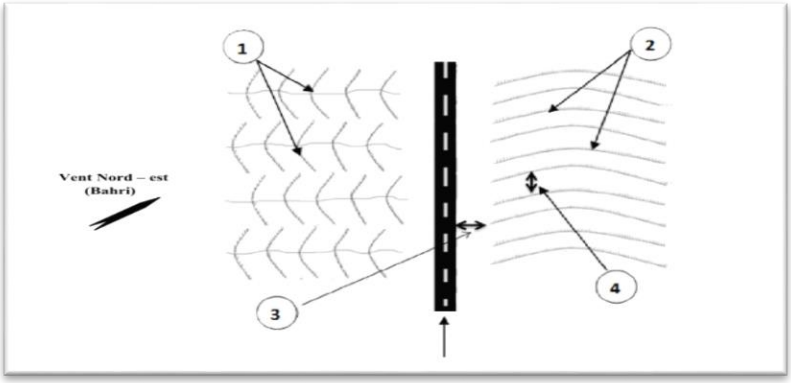


Figure I-3 Conception et disposition d'un dispositif de stabilisation des palmes



Figure I-4 exemple concret d'un dispositif expérimental de stabilisation des grosses dunes (30 à 40 m de hauteur) sur le tracé routier (El Oued Souf vers Robbah)

- **Mécanisme de palissades successives déposées parallèles à l'infrastructure à protéger (en amont) :**

Le mécanisme de ce type de désensablement se base sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse du vent et de sa direction (dévier la progression de sable dans une autre direction que celle du vent dominant).

Des édifications successives de palissades à base de palmes orientées perpendiculairement à la direction du vent le plus dangereux, de sorte qu'elle coupe l'édifice dunaire complètement, de la base au sommet de la crête de dune. Cela s'explique de la façon suivante : le vent, après s'être délesté de sa charge sur la seconde clôture accroît sa vitesse et dispose ainsi d'un surcroît d'énergie qui lui permet de dégager le sable accumulé par la première. Si à son tour la clôture n° 2 est ensevelie, l'édification d'une troisième jouera à l'égard de cette clôture n° 2 le même rôle que celle-ci a joué à l'égard de la clôture n° 1. Il se produit ce qu'on appelle une substitution de charge.

Le vide compris entre les palissades successives favorisent le déplacement du sable par la force éolienne dans une autre direction que celle du vent dominant.

- **Mécanisme de palissades successives déposées Obliquement par rapport à la l'infrastructure à protéger (en aval) :**

Le mécanisme de ce type de désensablement se base sur l'utilisation des obstacles aménagés sur les dunes de sorte que la vitesse du vent ne soit pas diminuée.

L'implantation des rangées de palissades obliques par rapport à la route (dans le même sens de la direction du vent dominant) joue respectivement le rôle de canalisateur et accélérateur du vent. Sous ce double effet, le vent se charge en sable au passage de la dune, l'érode et la repousse plus loin.

La présence in situ d'un matériau de base efficace – dans ce type de créneau – et en quantité suffisante, à savoir la palme dans cet environnement oasien pourrait encourager et faciliter la mise en œuvre d'une politique de lutte contre l'ensablement.

Des essais de ce type ont donné des résultats très satisfaisants au niveau de l'axe routier EL – Oued vers Robbah.

I.5.1.2 Fixation physico-chimique (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 :

- Paillage à l'aide de résidus agricoles, d'herbes, de sous-produits de l'industrie agro-alimentaire ;
- Couverture en terre, cette technique utilise le tout venant des carrières pour l'étaler sur la dune ;
- Couverture à base de matériaux synthétiques (films plastiques ou des mèches acryliques ;

- Pulvérisation d'huiles minérales (asphalte, huile lourdes, huiles brutes) ou de latex ;
- Stabilisation à l'aide de produits chimiques (Liants, Unisol 096, …).

Ces procédés permettent une fixation temporaire des sables mobiles dont la durée est déterminée par le temps de dégradation des éléments apportés.

Plus important, le risque de pollution de la nappe phréatique doit être considéré si l'on utilise des produits chimiques, des latex ou des produits dérivés du pétrole.



Figure I-5 Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie

I.5.1.3 Drâas ou les murs anti-sables :

Le Drâas est constitué par un tas de sable de forme oblongue stabilisé par des matériaux grossiers et/ou pierres. Ces barrages doivent être orientés d'après la configuration du terrain et l'action des vents dominants. Il faut aménager entre ces Drâas, des couloirs longitudinaux et transversaux qui obligent les vents dominants à travailler contre leurs impulsions naturelles et à chasser le sable qui, sans eux, s'accumulerait sur la route.

La méthode de stabilisation des dunes par des Drâas ou Gaouatie est une méthode traditionnelle de lutte contre l'ensablement. Cette technique est spécifique à la région du Souf. Le Fellah avait utilisé cette technique afin de préserver sa palmeraie et/ou son Ghout.

- **Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent monodirectionnel) :**

Le dispositif appliqué est basé essentiellement sur le vide ou l'espace laissé entre les tas de remblais (V1) et (V2). (Une discontinuité entre les tas de remblais) qui sont opposés au vent dominant (Dispositif en chicane). V1 = variant de 3 à 4m et V2 = variant de 14 à 16m. (cf. figure 7).

Les Drâas sont disposés à une distance (D) de 10 à 15m de la plateforme. Sa hauteur est de l'ordre de 3m, sa longueur (L) est variable de l'ordre de 14 à 16m.

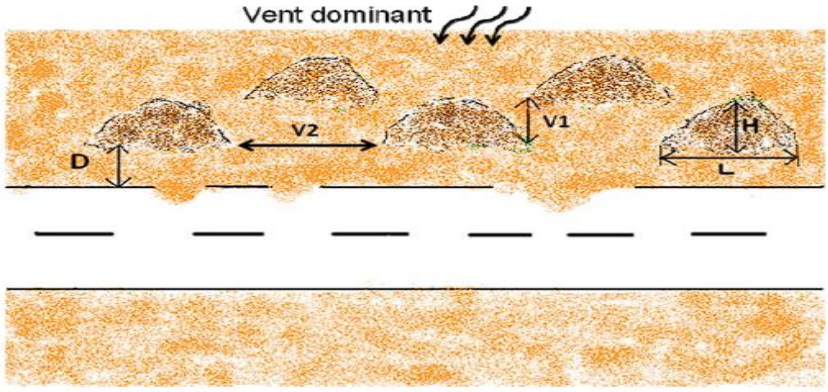


Figure I-6 Conception et disposition des Drâas en chicane.

- **Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent bidirectionnel) :**

Sous un régime du vent bidirectionnel, le sable peut être évacué par accroissement de la vitesse du vent par une orientation systématique des Drâas de chaque côté de la chaussée.

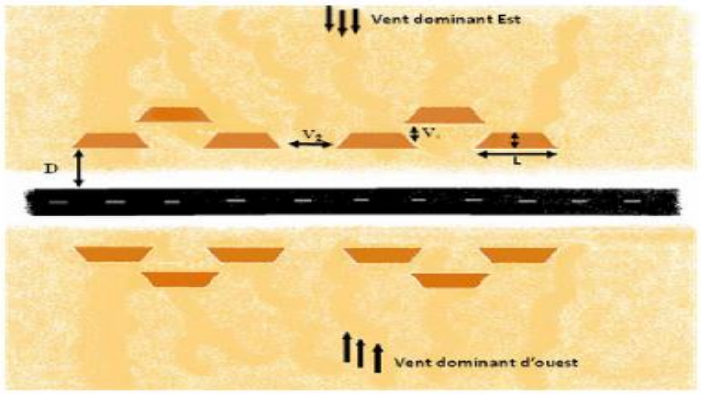


Figure I-7 Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel.

I.5.1.4 Désensablement :

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

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

I.5.2 Fixation biologique :

Lorsque les dunes sont fixées mécaniquement par l'un des procédés précédemment énumérés, il devient possible de rendre cette fixation définitive par l'installation d'une végétation pérenne. 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 grands écarts de température entre le jour et la nuit ;
- Être résistantes 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 ;

I.6 Conclusion :

En raison de sa topographie et de sa position géographique, l'Algérie est confrontée à un problème majeur d'ensablement et de désertification qui affecte une part significative de son territoire national. Afin de contrer ces phénomènes, il est essentiel d'élaborer une stratégie globale de lutte contre l'ensablement, qui peut être résumée de la manière suivante :

- 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. Recherche bibliographique

II.1 Introduction :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle (19^{éme} siècle). 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. Actuellement ce réseau est de plus de 4 560 km, il est appelé à atteindre 12 500 Km conformément au programme de développement du secteur ferroviaire initié par les pouvoirs publics.

II.2 Histoire de chemin de fer en Algérie :

L'histoire des chemins de fer d'Algérie commence en 1857 durant Période coloniale, avec un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1357 km. Le premier chantier a démarré en 1859, il porte sur la construction de la ligne Alger – Blida. Sa gestion est confiée à la société privée dénommée Compagnie des chemins de fer algériens.

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis-du-Sig ainsi qu'une liaison entre le port de Philippeville (auj. Skikda) et Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger à Blida, qui sera ouverte le 8 septembre 1862.

Cinq autres compagnies sont créées pour construire les lignes restantes :

- La Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma (BG).
- La Compagnie de l'Est Algérien (EA).
- La PLM réseau d'Algérie (PLM).
- La Compagnie de l'Ouest Algérien (OA).
- La Compagnie Franco-Algérienne (CFA).

L'objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1 365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

En 1879 une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelle national pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant.

En 1900, la Compagnie franco-algérienne, endettée, perd sa concession. Le même sort touche la Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma en 1905 puis celle de l'Est Algérien en 1908.

Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau ferroviaire algérien.

Le 30 juin 1959 l'État français signe une convention pour crée la Compagnie des Chemins de Fer Français en Algérie (CCFA) qui devient après l'indépendance de l'Algérie en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens) Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts :

- La SNTF qui assure l'exploitation du réseau ferré algérien.
- L'ANESRIF chargé de la maintenance et de la construction des lignes ferroviaires.
- La SIF pour le développement du réseau ferré algérien.

En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de l'ANESRIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF.

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.

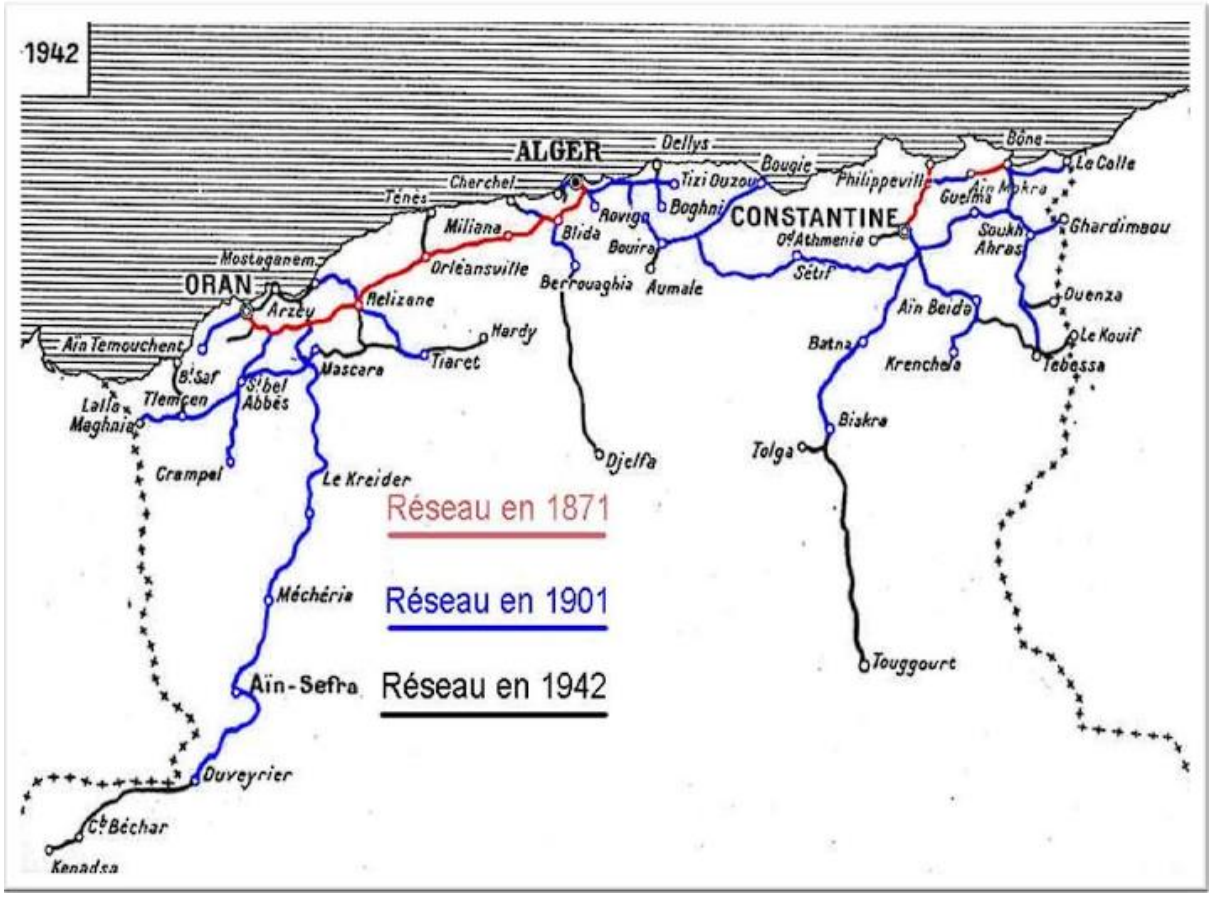


Figure II-1 les réseaux ferroviaires en Algérie (1942)

II.3 Réseaux ferroviaires algériens :

Depuis l'indépendance, Le réseau ferroviaire de l'Algérie 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 4 560 km.

Selon l'ANESRIF (Agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires), le réseau ferroviaire algérien se divise en 6 parties selon positionnement géographique.

II.3.1 Rocade ferroviaire nord et ses dessertes :

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 ;

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

II.3.2 Rocade ferroviaire des hauts plateaux :

La rocade des hauts plateaux longue de 1162 km parallèles 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.
- 10 wilayas desservies.

II.3.3 Boucle Sud – Ouest :

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.

II.3.4 Pénétrante Sud Est :

La ligne ferroviaire reliant Constantine à Hassi Messaoud s'étend sur une distance de 574 km, traversant les régions de l'est et du sud de l'Algérie. Les travaux de modernisation de cette ligne ont été achevés jusqu'à Touggourt. Cette modernisation comprend l'installation de systèmes de signalisation et de télécommunication de pointe. De plus, il est prévu de prolonger la ligne de Constantine à Hassi Messaoud sur une distance de 150 km, permettant aux trains de voyageurs d'atteindre une vitesse de 220 km/h.

II.3.5 Pénétrante Ouest :

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.

II.3.6 Pénétrante centre :

Actuellement, la construction de la liaison ferroviaire entre Laghouat, Djelfa et Ksar el Boukhari est en cours. Cette liaison s'étendra sur une distance de 290 km. Parallèlement, des études ont été lancées pour les tronçons reliant Laghouat à Hassi Messaoud via Ouargla, ainsi que pour les liaisons entre Blida et Ksar el Boukhari, et de Ain Salah à Tamanrasset. Ces études visent à évaluer la faisabilité de ces tronçons et à déterminer les mesures nécessaires pour les réaliser. Une fois terminés, ces tronçons permettront aux trains de circuler à une vitesse rapide de 220 km/h.

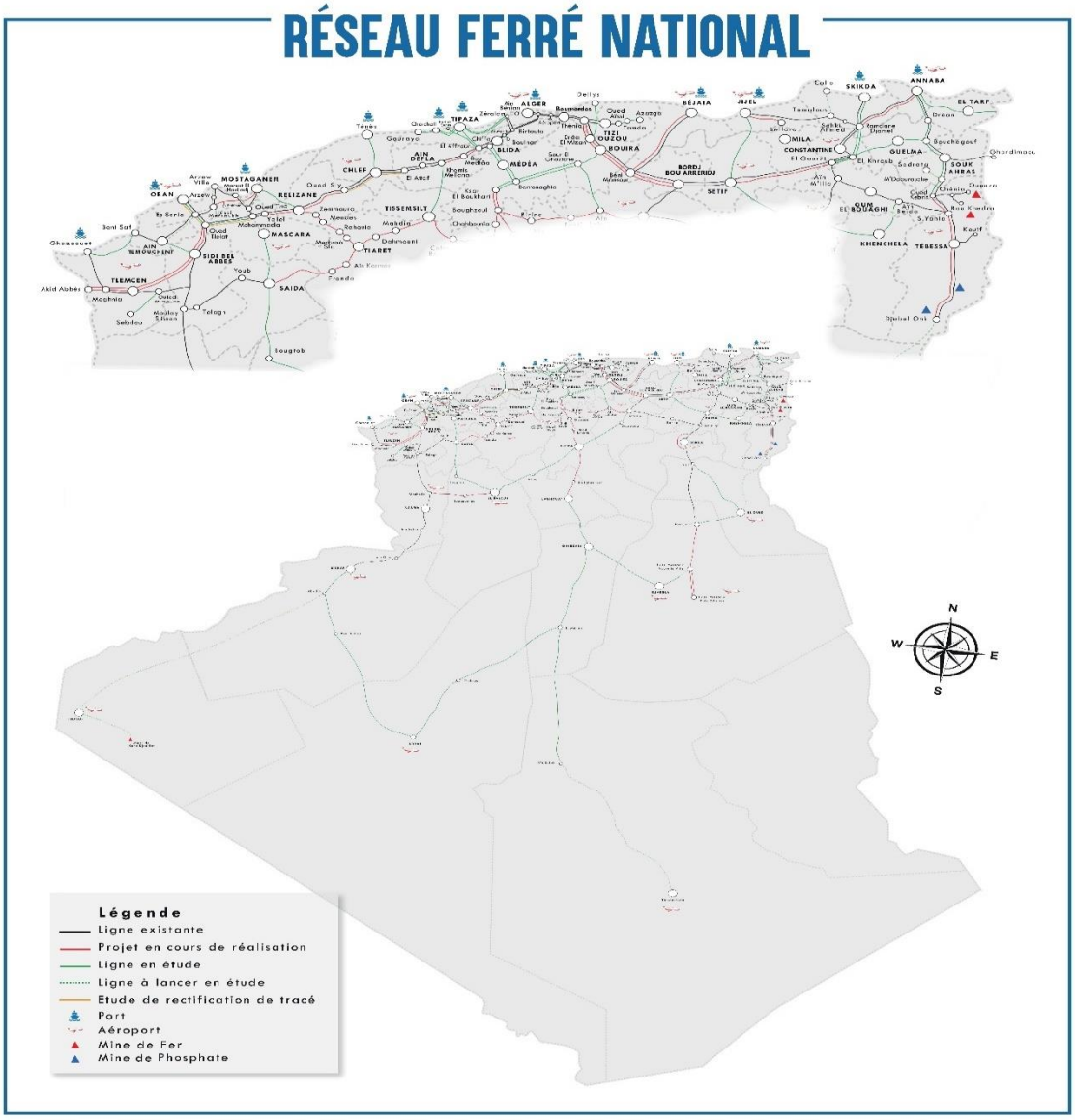


Figure II-2 Le programme ferroviaire national. (Source : SNTF)

II.4 Avantage des chemins de fer :

Le chemin de fer est le moyen de transport issu de la première révolution industrielle. Il associe une infrastructure, la voie ferrée, des véhicules spécifiques, des locomotives, des voitures et des wagons et un système d'exploitation totalement intégré. Le transport ferroviaire s'effectue sur des voies ferrées, et comprend par conséquent, le train, le métro, le tramway. C'est le seul moyen de transport qui utilise à ce jour massivement l'électricité comme source d'énergie. Il présente par conséquent des avantages nombreux :

- Rapidité : système de guidage et absence d'obstacles,
- Peu couteux : la puissance développée par des moteurs électriques permet le transport des charges importantes et l'énergie n'a pas besoin d'être stockée,
- C'est parmi les modes de transport les plus sécurisants au monde,
- Il est moins polluant, principalement pour un réseau électrifié,

- Fluidité du trafic et respect des délais,
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires,
- Gain de temps, confort et sécurité,
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III. Présentation du projet

III.1 Introduction :

Dans le secteur des transports, le chemin de fer Touggourt-Hassi Messaoud est l'un des projets importants qui contribueront à la relance de la mobilité économique et assure en premier lieu l'acheminement des matières premières dans les zones de la ligne ferroviaire « Pénétrante Est ».

III.2 Présentation du site :

La zone d'étude se situe entre la commune de Hassi-Messaoud et celle de Touggourt de la wilaya de Ouargla exactement à 86 km au sud-est de la ville de Ouargla, chef-lieu de wilaya est située à environ de 790 km au sud-est de la capitale d'Alger. La wilaya d'Ouargla est le cœur économique et poumon de l'Algérie grâce au pétrole de Hassi Messaoud.

III.2.1 Situation géographique :

La wilaya d'Ouargla, large territoire de 163 230 km2, se positionne idéalement au centre de la région programme Sud/Est. Elle occupe la frange la plus au centre du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons.

La wilaya est située dans la partie sud du pays. Elle est limitée :

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

La wilaya de Ouargla compte actuellement 21 communes regroupées en 10 Daïras avec une population de 633 967 habitants.

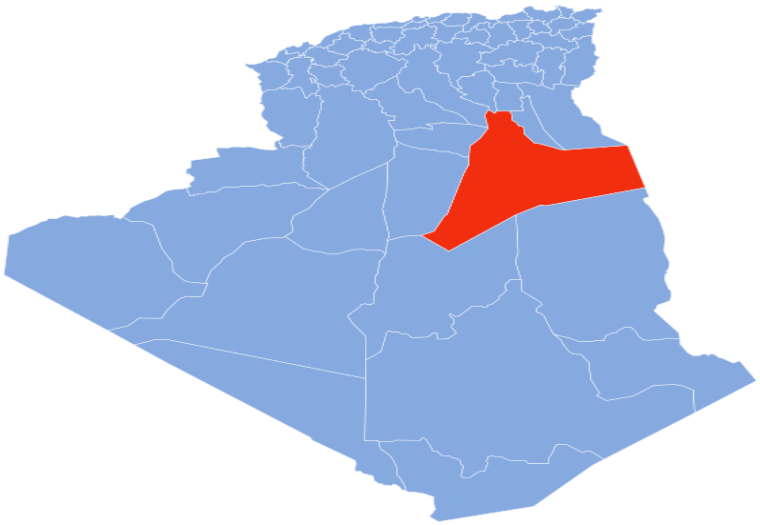


Figure III-1 Carte de situation géographique de la wilaya de Ouargla.

III.2.2 Le relief :

La wilaya de Ouargla présente une altitude moyenne de 165 mètres, 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.

III.2.3 Climat :

La région est caractérisée par un climat très chaud en été (souvent plus de 40°) et très froid en hiver. 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, qui est l'une des particularités au Sahara.

Les précipitations sont très abondantes, faibles, la moyenne des précipitations annuelles ne dépasse pas 100 mm.

Avec la chaleur, l'été, 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.

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

L'humidité relative enregistre des taux tournant de 34,2% au mois de juillet à 67,2 % au mois de décembre. (Source ONM).

III.2.4 Sismicité :

D'après le Règlement parasismique Algérien « RPA 99/version 2003 » Le territoire national est divisé en cinq (05) régions sismiques.

Compte tenu des critères de classification, la région du projet est classée dans la zone sismique 0 (sismicité négligeable).

III.3 Présentation du projet :

Notre projet intitulé « la nouvelle ligne ferroviaire du tronçon Touggourt-Hassi Messaoud » s'étale sur une longueur de 20 Km. Le tracé est à voie unique du PK 76+000 au PK 96+925 il s'agit d'une étude en APD, avec l'aménagement de la gare de la nouvelle ville Hassi-Messaoud.

Cette nouvelle ligne est destinée au transport de marchandises et de voyageurs. Le tracé constitue une nouvelle liaison ferroviaire qui reliera la gare de Touggourt (dans la wilaya de Touggourt) à la nouvelle ville d'Hassi Messaoud et au pôle pétrolier d'Hassi Messaoud (dans la wilaya de Ouargla), dans le nord-est du Sahara algérien.

Cette ligne d'une longueur de 150 km, sera le prolongement vers le sud de la ligne d'El Guerrah à Touggourt (dénommée ligne ferroviaire « Pénétrante Est »).



Figure III-2 Pénétrante Est.

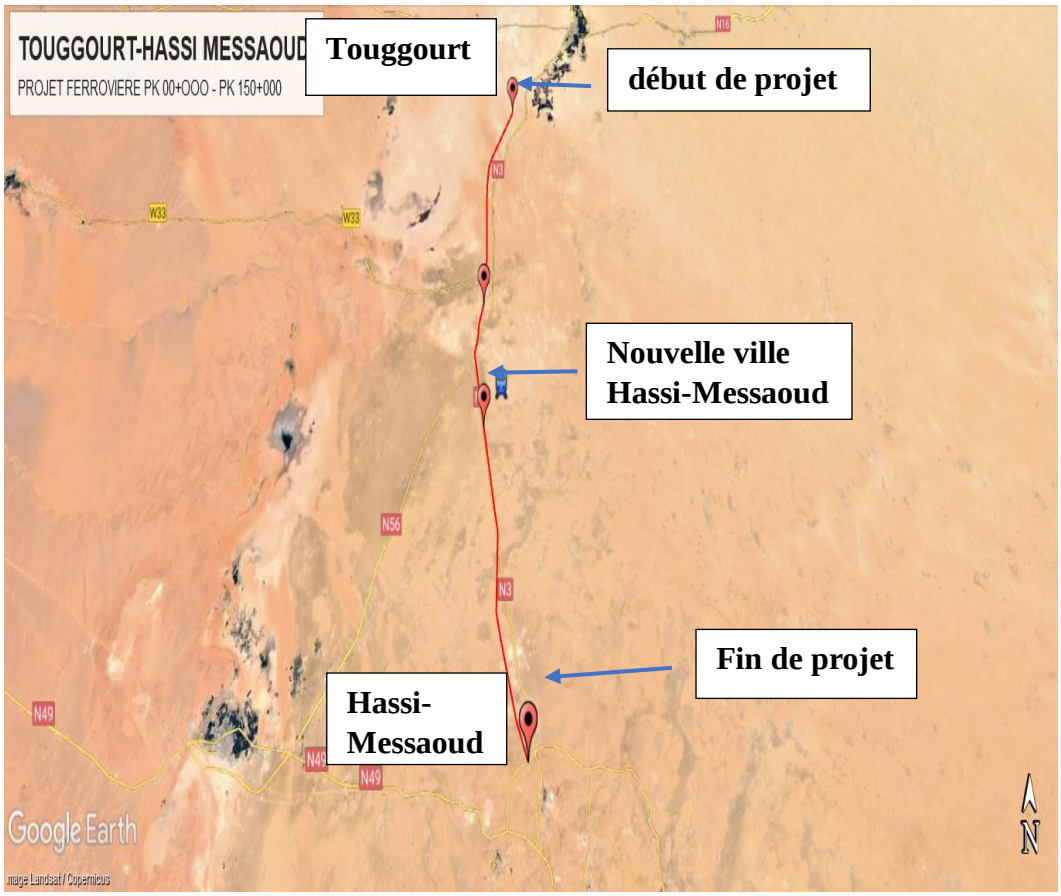


Figure III-3 Localisation du projet

III.4 Caractéristiques du projet :

III.4.1 Caractéristiques de Base :

- Longueur du projet : 20 km,
- Ligne mixte à voie unique.
- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC,
- Mode de traction prévue : Diesel, avec prévision d'une électrification future.
- La nouvelle gare voyageurs de la nouvelle ville Hassi-Messaoud.

III.4.2 Caractéristiques de la Voie

- **Vitesses :**
  - Vitesse des trains de voyageurs : 220 km/h.
  - Vitesse des trains de marchandises : 100 km/h.

- **Ecartement :**
  - Écartement normal de 1435 mm sans sur écartement dans les courbes.
- **Gabarit :**
  - Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse c'est à dire le gabarit GC de l'UIC.
- **Charges à l'essieu :**
  - Infrastructure : 22.5 T.
  - Ouvrages d'art : 25 T.
- **L'entraxe des voies :**
  - L'entraxe des voies est de 4,20 m (la voie unique étant réalisée à son emplacement définitif, l'axe de la deuxième voie sera placé ultérieurement).

III.5 Description du tracé :

Tableau III-1 Fiche technique de notre tracé

Eléments	Détails
Linéaire (km)	22
Vitesse (km/h)	220
Nombre de gare	- 1 gare voyageur (nouvelle ville Hassi-Messaoud). - 1 gare de croisement au PK 77+700 au PK 79+900.
PK début	PK76+000
PK fin	PK96+725

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IV. Superstructure de la voie

IV.1 Introduction :

Une voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristique physiques et mécaniques différentes qui permettant la transmission à la plate- forme, les charges statiques et dynamiques des roues. Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des travers qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

IV.2 Caractéristiques d'une voie :

Les paramètres principaux qui caractérisent une voie ferrée sont :

- Le type de rail utilisé (poids, longueur, section),
- Le mode de fixation des rails aux traverses,
- La longueur des rails en voie (barres normales éclissées ou longs rails soudés),
- L'écartement des rails, et les tolérances admises,
- Le type et la densité des traverses (travelage),
- Le tracé en long (rayons de courbure et dévers),
- Support (ballast ou béton),
- La charge admise par mètre courant ou à l'essieu,
- La vitesse des trains (voies à grande vitesse).

IV.3 Armement de la voie :

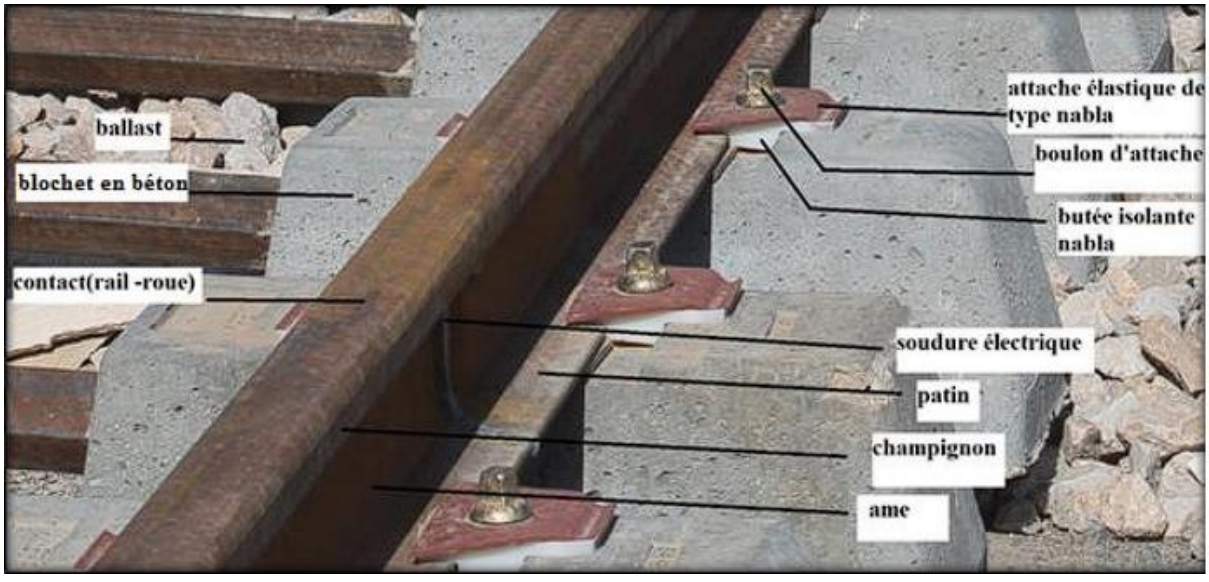


Figure IV-1 Les éléments de la superstructure

- L'armement de la voie constituées de plusieurs éléments il s'agit de :

IV.3.1 Le rail :

Le rail est un élément constitutif de la voie ferrée. Il permet le contact avec les roues et transmet les charges aux traverses, qui elles-mêmes, les transmettent au corps d'assise.

Le rail est une barre d'acier profilée. Deux files parallèles de rails mis bout à bout forment une voie ferrée. Ils reposent alors généralement sur des traverses pour conserver un écartement constant.

Les rails servent à la fois la transmission des charges et de guide et de support de roulement pour les véhicules. Étant conducteurs électriques, ils peuvent aussi être utilisés pour la transmission de signaux (circuits de voie) et pour la traction des traines sur les lignes électrifier.

Le type de rail utilisé dans notre projet entre « Touggourt-Hassi Messaoud » est de type Vignole UIC 60 E1.

IV.3.1.1 Le profil du rail :

C'est une coupe transversale du rail qui peut comprendre les trois parties suivantes :

- **Table de roulement :** C'est la partie de contact rail-roue.
- **Le champignon :** C'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces forces latérales. La largeur du champignon doit être choisie de façon :
  - À permettre un effet de frettage dans les zones où se produisent les contraintes dues au Contact rail –roue.
  - À permettre le tracé avec un rayon suffisant les congés de raccordement de l'âme et du champignon.
  - À donner une marge d'usure latérale suffisante dans les courbes de faible rayon.

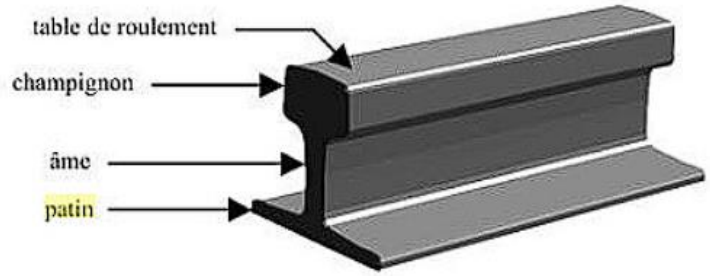


Figure IV-2 les constituant de la section transversal de rail

- **L'âme et portée d'éclissage :** Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage. L'épaisseur de l'âme doit tenir compte des efforts de déversement et les efforts tranchants qu'elle supporte et des sollicitations élevées qui se développement au voisinage des trous d'éclissage.
- **Le patin :** Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et

celle de champignon et par les possibilités du laminage, sa largeur conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontal et détermine le taux de compression sur les traverses.

IV.3.1.2 Les types des rails selon leur profil :

Plusieurs profils de rail ont été utilisés depuis l'existence des véhicules guidés mais il ne reste que trois types principaux qui sont :

- **Rail à gorge :** Ces rails sont utilisés pour les voies encastrées dans les chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

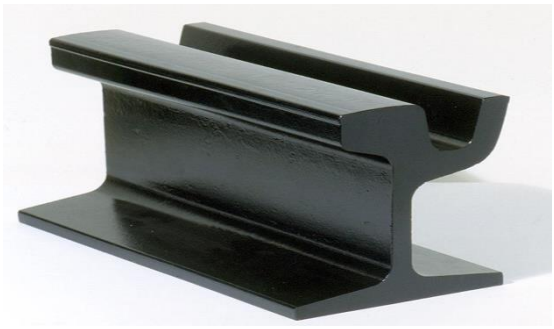


Figure IV-3 Rail à gorge.

- **Les rails à double champignons :** Le rail à double champignon symétrique avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc de doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dû à l'écrasement au niveau des berceaux). Ce principe a été abandonné de nos jours.



Figure IV-4 Rail à double champignon.

- **Le rail Vignole :** Le rail moderne est généralement du type « Vignole » ; dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.



Figure IV-5 Le rail Vignole (UIC 60)

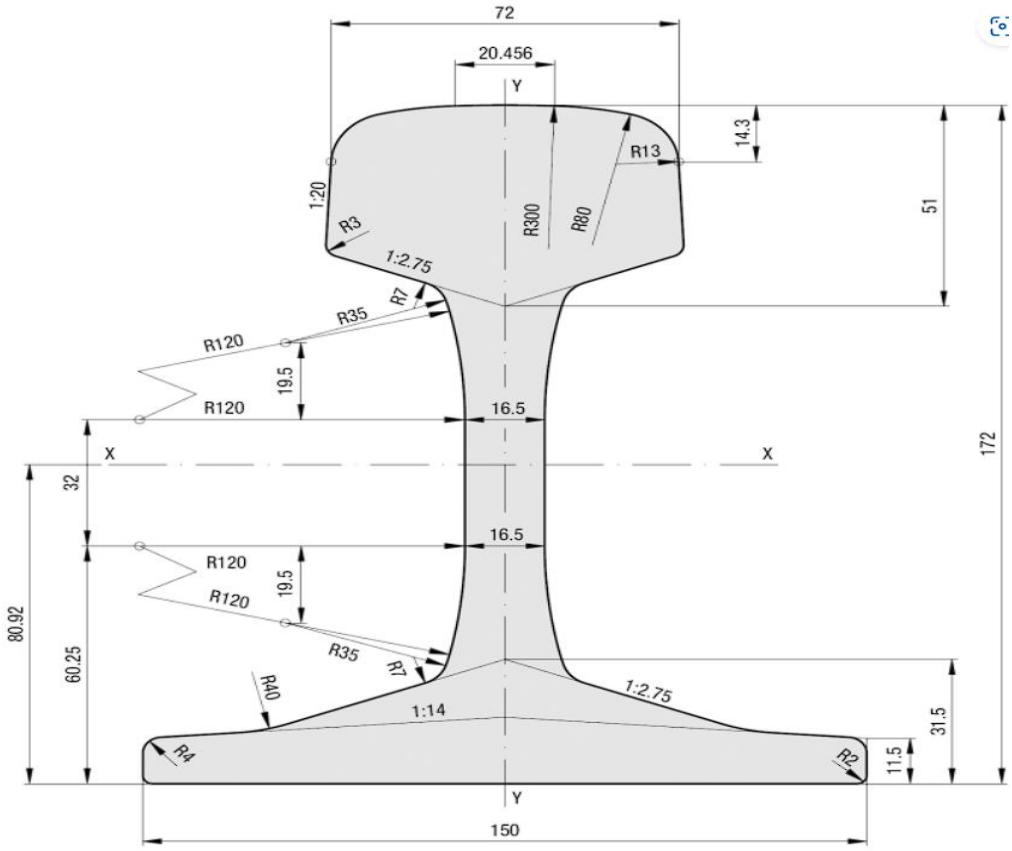


Figure IV-6 Profil rail du type UIC60 E1

IV.3.1.3 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 :

- Surface de la section : 76.70 cm².
- Masse par mètre : 60.34 Kg/m.
- Moment d'inertie, axes xx : 3038.3 cm^4.
- Module d'inertie champignon : 333.6 cm^3
- Module d'inertie patin : 375.5 cm^3.
- Moment d'inertie axe yy : 375.5 cm^4.
- Module d'inertie axe yy : 512.3 cm^3.
- Hauteur totale : 172 mm.
- Épaisseur Champignon : 72 m.
- Épaisseur patin : 150 mm.
- Épaisseur âme : 16.5 mm.
- Dimension indicative B : 52.053 mm.
- Dressage : classe A.
- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW.
- Nuance : 260 (carbone-manganèse).
- Résistance à la traction ≥ 880N/mm².
- Allongement : A ≥ 10%.

IV.3.1.4 Ecartement et inclinaison des rails :

L'écartement des rails est la distance séparant le flanc interne des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement standard de 1 435 mm, caractérisant la « voie normale », est le plus utilisé dans le monde.

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en voie normale sauf pour les réseaux de tramway.

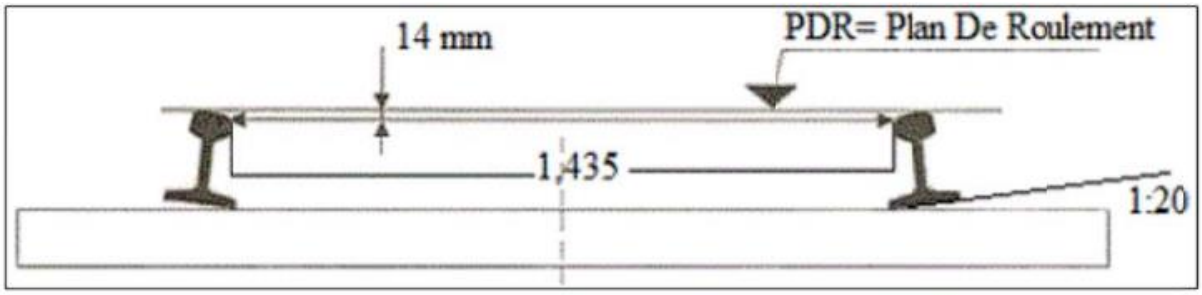


Figure IV-7 Ecartement et inclinaison des rails.

IV.3.1.5 Assemblage des rails :

Les rails sont fabriqués en longueurs comprises entre 18 et 120 mètres pour construire l'unité des barres d'acier qui forment la voie, on est obligé de les relier solidement à leurs extrémités, Pour créer cette connexion, il existe deux types d'assemblages : l'éclissage et la soudure.

IV.3.1.5.1L'éclissage :

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'entrent entre le dessous du champignon et le dessus du patin. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon de se comporter comme une poutre continue.
- Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre toute en permettant le mouvement la dilatation pour ce type d'assemblage.



Figure IV-8 L'éclissage.

IV.3.1.5.2La Soudure :

Il y a deux types de soudures à savoir :

- La soudure électrique qui utilise un arc électrique pour fondre les métaux et les joindre ensemble.
- La soudure aluminothermique qui utilise une réaction chimique entre l'aluminium et l'oxyde métallique pour produire de la chaleur et fondre les métaux à souder.



Figure IV-9 Soudure aluminothermique de deux barres de rails soudés.

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », sont produites en atelier par la soudure électrique des rails élémentaires de 18 à 120 m (selon les pays) pour former des barres de 144 à 436 m. Ces barres sont ensuite posées sur de très grandes longueurs, sans limite réelle, les soudures entre LRS étant réalisées à la pose, par soudure aluminothermique ou soudure électrique en voie.

La dilatation des rails est contrainte par le frottement des traverses sur le ballast, sous réserve que certaines conditions de stabilité de la plate-forme soient remplies. Afin de permettre cette dilatation, des **dispositifs de dilatation** sont installés à l'extrémité des LRS et au niveau de certains ouvrages d'art. Ces dispositifs sont conçus pour absorber les variations de température et empêcher les contraintes excessives sur les rails, qui pourraient conduire à des déformations ou à des ruptures.

Les grands avantages de cette méthode sont :

- Suppression de l’éclissage boulonné,
- Réduction des dépenses d’entretien,
- Réduction du nombre d’avaries des rails,
- Une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

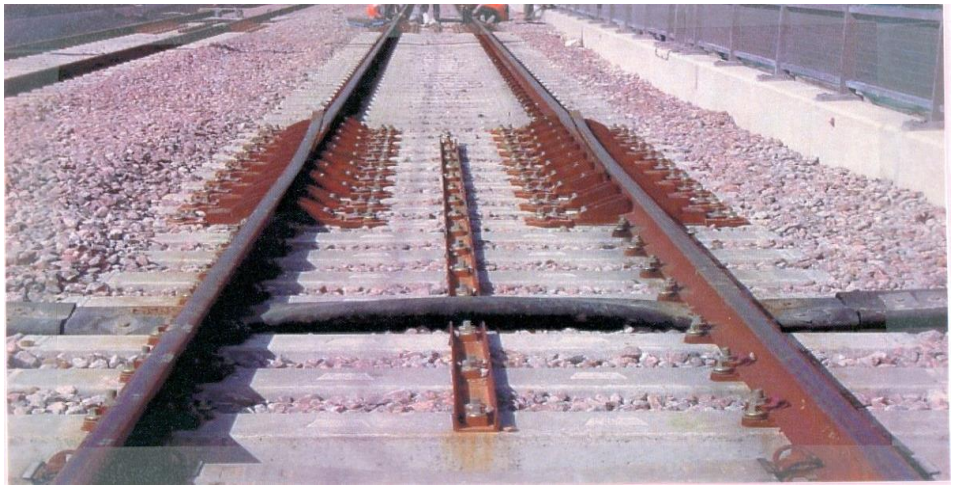


Figure IV-10 Appareil de dilatation

IV.3.2 Les traverse :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails, et celui de l'inclinaison au 1/20 du rail.

Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement entre 1666-1667 traverses/Km selon la SNTF.

IV.3.2.1 Différents types de traverses :

- **Traverses en bois :** 1ère génération des traverses, elles sont généralement en chêne, en bois exotique dur, utilise généralement au niveau des appareils de voie.
- **Traverse métallique :** les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et facile à poser.
- **Les traverses en béton :**
  - **Bibloc :** elle est constituée de deux blochet séparés par un profilé métallique pour maintenir l'écartement.
  - **Monobloc :** poutre en béton précontrainte, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

L'utilisation des traverses en béton est en nette augmentation, tant à cause de leur qualité intrinsèque que pour le prix élevé des traverses en bois. Les traverses en béton, par leur poids important, assurent un bon ancrage de la voie dans le ballast.

Elles sont en particulier utilisées pour les lignes nouvelles à grande vitesse. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositifs isolants en caoutchouc.

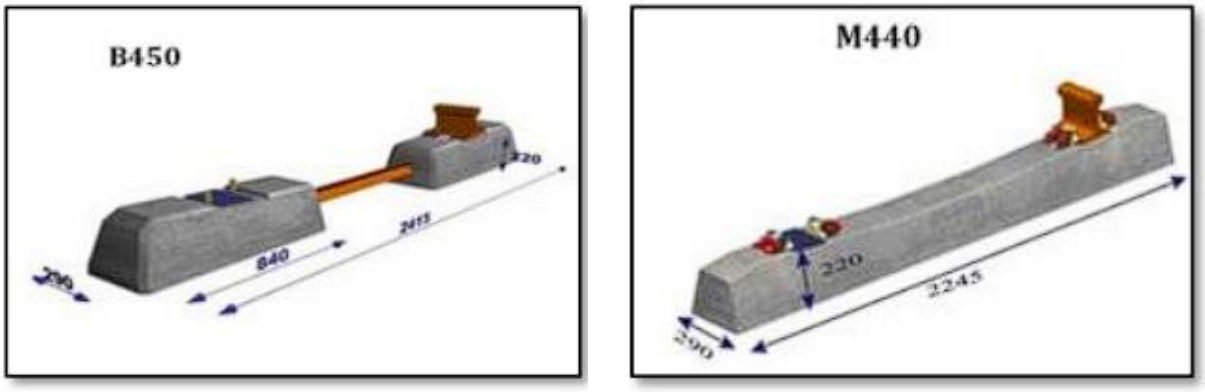


Figure IV-11 Les traverses utilisées dans le projet.



Figure IV-12 Travers en bois

IV.3.3 Les attaches :

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

IV.3.3.1 Type d'attaches :

Il existe plusieurs systèmes permettant la fixation du rail sur les traverses en béton armé, ils varient en fonction du type de traverses, du type de rail, du mode de pose de la voie (Longs Rails Soudés ou Barres Normales).

- **Attaches Rigides :** Système d'attaches manquant de souplesse, n'accompagne pas le rail dans son mouvement vertical – Exemple Crampons et tirefonds.
- **Attaches élastiques :**

Le système 'attache dit « élastique » assure le maintien du rail lorsque celui-ci s'affaisse sous la charge des circulations. Elle s'oppose donc à son cheminement longitudinal et peut être utilisée pour la pose de long rail soudé (LRS).

L'attache élastique est conçue d'une pièce métallique élastique (ressort) fixée à la traverse et appuyant sur le patin du rail. Lors du passage des circulations, le ressort accompagne le mouvement du rail tout en assurant constamment son action de maintien.

Elles sont mises en œuvre avec des semelles en caoutchouc qui se placent entre la traverse et le dessous du rail. Ces semelles ont pour rôle d'amortir une partie des vibrations et de permettre le cheminement longitudinal du rail sans endommager la traverse, On trouve aussi souvent des butées en plastiques qui servent à assurer un maintien latéral du rail.



Figure IV-13 les types des attaches.

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

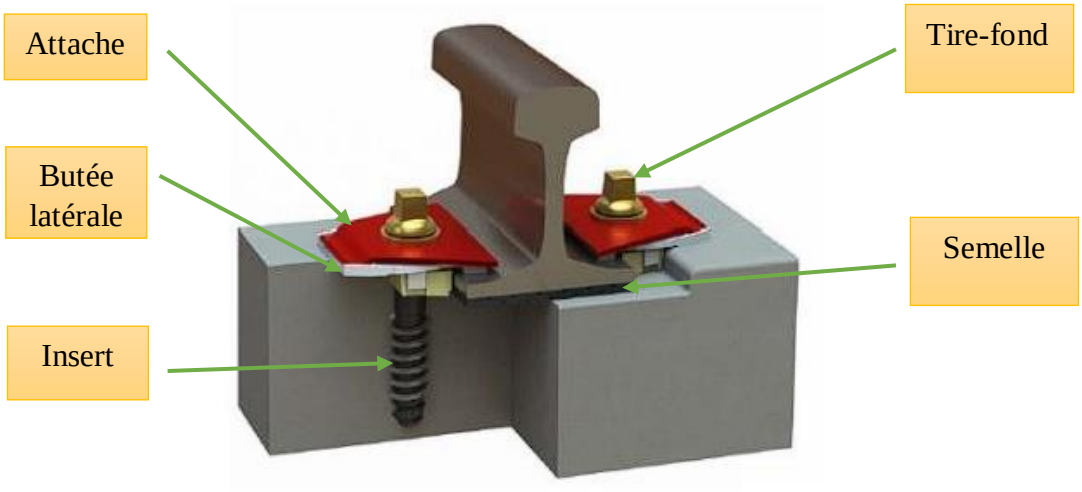


Figure IV-14 les composantes d'attache type nabla

IV.3.4 L'appareil de voie :

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'ont désigné appareils de voie. C'est un dispositif de guidage qui permet au train de passer d'une voie à une autre voie ou de traverser des voies.

Les « appareils de voie » sont constitués de rails spéciaux (croisement de rails) et d'éléments mobiles (aiguille) qui permettent le passage d'une voie à une ou plusieurs autres, ils sont caractérisés par leur angle de déviation au cœur exprimée sous la forme décimale, ce dernier peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée.

Il existe trois catégories d'aiguilles :

- Le branchement simple.
- Le croisement. Ou traversée simple.
- La traversée jonction (qui peut être simple ou double) ou combinaison des deux derniers.

En général, les appareils de voie sont construits et montés en atelier avant d'être installés à leur emplacement définitif.

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).

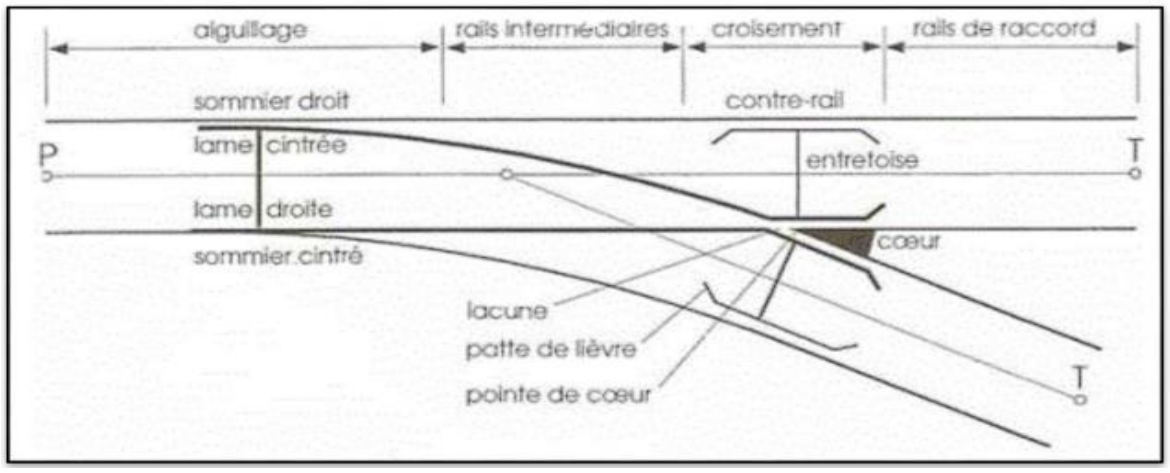


Figure IV-15 Un branchement et ses éléments constitutifs. (Source : SNCF 2003, IN2915)

Les appareils de voie de notre projet :

- **UIC 60 1/9-300 :** c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil tag = 1/9, Avec une vitesse de franchissement 50 km/h et un rayon de 300m utilisé comme branchement entrée et de sortie de voie de quais les trains de voyageurs
- **UIC 60 1/12-500 :** c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil tag = 1/12, Avec une vitesse de franchissement 65 km/h et un rayon de 500m utilisé dans le cas d'un passage de voie principale a une autre voie principale et dans les entrées et sortis des gares ferroviaires.

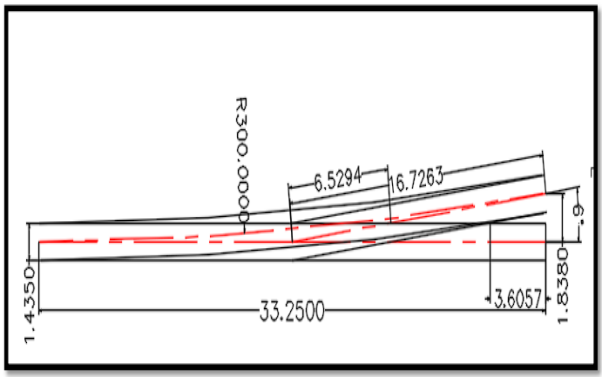


Figure IV-17 UIC 60 1/9-300

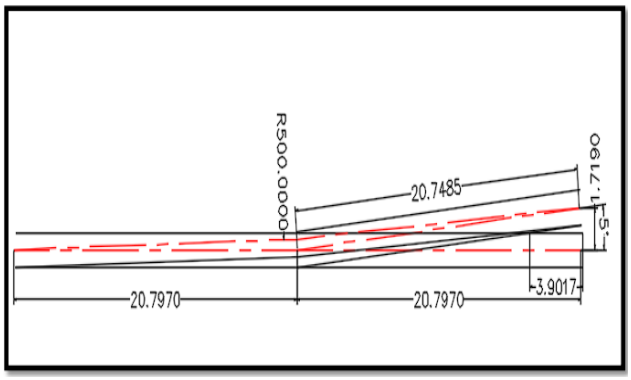


Figure IV-16 UIC 60 1/12-500

IV.4 Caractéristique de notre voie

- **Rails :** En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1.
- **Traverse :**
  - Traverses monobloc M440 en pleine voie et dans voies principale de gare.
  - Traverses bi-bloc dans les voies de services de type VAX U31.
  - Traverses en bois pour les appareils de voie.
- **L'écartement des traverses :**
  - La voie sera construite à écartement normale e = 1435mm.
- **Le support :**
  - Ballast.
- **Attache :**
  - Attaches élastiques de type NABLA.
- **Semelle :**
  - Semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9mm, collé sur la table d'appui des traverses.
- **Appareils de voie :**
  - UIC-60 500-1/12 avec une vitesse de 65 km/h.
  - UIC-60 300-1/9 avec une vitesse de 50 km/h.

CHAPITRE V : TRACE EN PLAN

V. Tracé en plan

V.1 Introduction :

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface qui répond aux conditions et recommandations exigées par les normes internationales ferroviaires. (les normes techniques ferroviaires de l'UIC et les recommandations de la SNTF).

V.2 Définition :

Le tracée en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontale, il est constitué en générale d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles relié entre eux par des courbes de raccordement progressif.

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

- $\mathbf{V_v}$: vitesse des trains voyageurs (rapides).
- $\mathbf{V_m}$: vitesse des trains marchandises (lents).

V.3 Conditions et règles de tracé :

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

(Sources : UIC et SNTF) :

- Utiliser le maximum d'alignements droit et entre deux courbes la longueur minimale est de 0.5 V (km/h),
- Le rayon minimum recommandé par la SNTF.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible. Dans le cas où c'est inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dès les endroits les plus étroits,
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement,
- Eviter les problèmes de talus :

  - **Talus en déblai** : Evité pour :
    - Présence de nappe.
    - Terrains plastiques.
    - Présence de roches fissurées.
  - **Talus en remblai** : Evité pour :
    - présence de terrain instable.
    - sol très compressible.

V.4 Eléments de tracé en plan :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

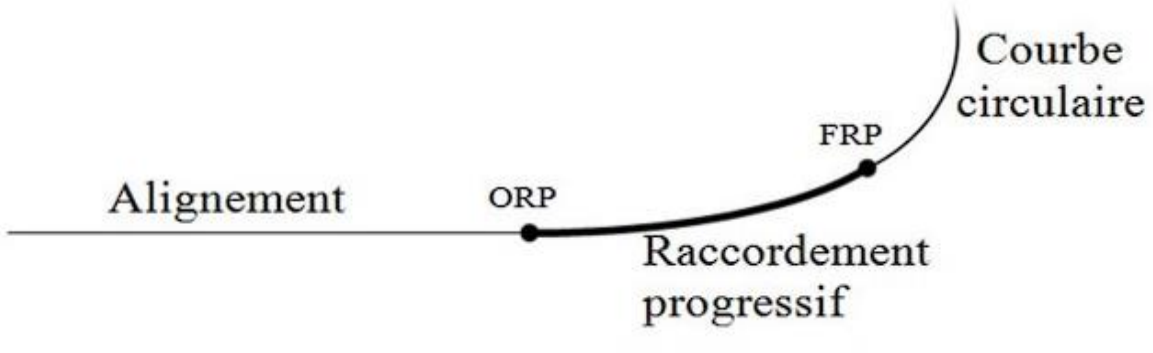


Figure V-1 Eléments géométriques du tracé en plan

V.4.1 L'alignement :

C'est le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, outre le confort apporté aux voyageurs.

V.4.2 L'arc de cercle :

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recouru au raccordement circulaire. Vu le poids important, donc pour la diminuer, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

V.4.3 La courbe de raccordement :

C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R=∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant.

V.5 PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :

Les paramètres géométriques nécessaires pour assurer la stabilité du train sur la voie et le confort des voyageurs sont établis en fonction de sa vitesse conformément aux recommandations de la SNTF.

Tableau V-1 vitesse des trains maximale

Vitesse voyageurs V_v	**220 km/h**
Vitesse marchandises V_m	100km/h

V.5.1 Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin) :

La valeur du rayon minimum admissible est un paramètre qui dépond 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 est calculé par la formule suivante (UIC 719) :

$$\frac{11.8*V_m{}^2}{d_{max}+E_{max}} \geq R_{min} \geq \frac{11.8*V_v{}^2}{d_{max}+I_{max}}$$

tq :

- R_{min} : Rayon minimum de courbe (m).
- V_v = Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- d_{max} = Dévers maximal (mm).
- I_{max} = Insuffisance de dévers maximum (mm).

V.5.2 LE Dévers :

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à le projeter.

Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roues, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieur de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.



Figure V-2 Définition du Dévers

V.5.2.1 Dévers théorique (d_{th}) :

Considérons un train circulant à une vitesse constante « V » dans une courbe circulaire de rayon « R ». Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train. Le devers théorique appelé également « dévers d'équilibre » noté « dth » est donné par la formule suivante :

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

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

V.5.2.2 Dévers pratique (d_p) :

En pratique, le dévers effectif est généralement inférieur à sa valeur théorique, ce qui peut entraîner un manque de dévers pour les trains rapides et un excès de dévers pour les trains lents. Lorsqu'il y a un excès de dévers, cela peut causer une usure et un écrasement du

rail de la voie intérieure, ainsi que des problèmes de confort et de démarrage pour les trains. À l'inverse, en cas d'insuffisance de dévers, une accélération non compensée peut se produire, ce qui peut entraîner des problèmes de confort pour les passagers, un risque de déraillement et une usure excessive du rail de la voie extérieure.

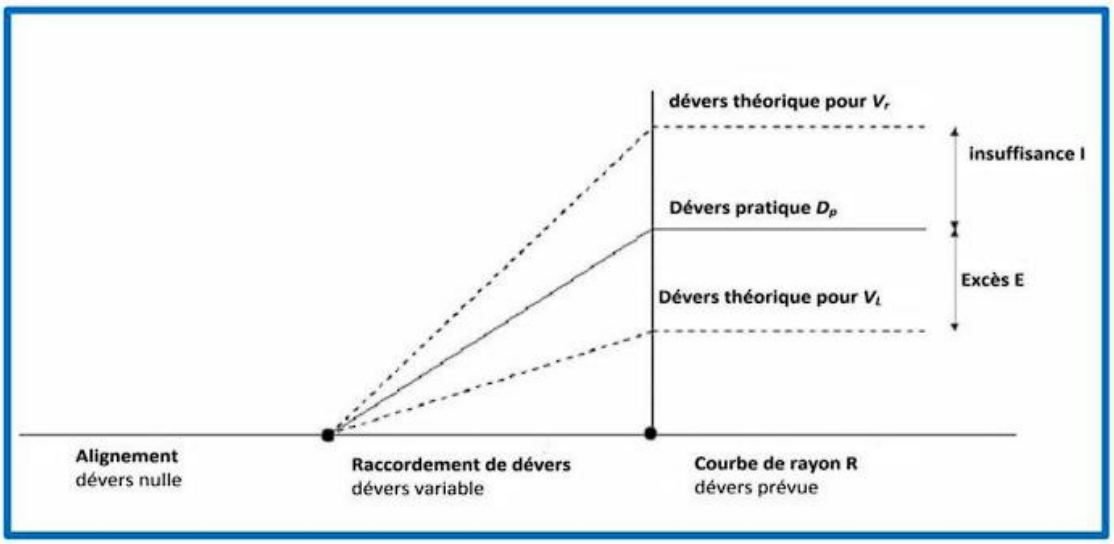


Figure V-3 Schéma de raccordement de devers

C'est pour cela que l'on prévoit en traçant les lignes un dévers moyen (dévers normal) ; qui tient compte aussi bien des grandes vitesses que des vitesses réduites. C'est à dire le dévers pratique compris entre les dévers théoriques des deux trains (rapide et lents).

Afin de conserver l'homogénéité du confort sur la ligne, le dévers pratique appliqué à la voie est donné par la formule : $\mathbf{d_p = \frac{1000 * C}{R}}$

Avec c : coefficient de devers

Aussi le dévers pratique doit être **0.5dth ≤ dp ≤ 0.7dth**

V.5.2.3 Coefficient de dévers :

Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers pratique et la courbure :

$$\mathbf{C = \frac{R_{min} * d_{min}}{1000}}$$

Pour le calcul de Coefficient de dévers C on utilise la formule suivante proposé par la SNCF et doit être multiple de 15 : $\mathbf{C = 0.006 * v^2}$

Tableau V-2 Valeurs limites du dévers

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

V.5.3 Insuffisance de dévers (I) :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimée en mm) la différence entre le dévers théorique et le dévers prescrit. $\mathbf{I = d_{th} - d_p}$

Tel que : $\mathbf{d_{th}}$ Dévers théorique des trains rapides.

V.5.4 Excès de dévers (E) :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers prescrit et le dévers théorique : $\mathbf{E = d_p - d_{th}}$

Tel que : $\mathbf{d_{th}}$ Dévers théorique des trains lents.

V.5.5 Gauchissement et variation du dévers :

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste. Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport **d/L** appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m). Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

- Valeur limite normale : **dd/dl =180/V.**
- Valeur limite exceptionnelle : **dd/dl =216/V.**

V.5.6 Longueur minimum des éléments de tracé :

Afin de faciliter le roulement et adoucir le roulis des wagons de train, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments du tracé. Ces longueurs doivent respecter les valeurs exprimées ci-après en mètre (la vitesse exprimée en Km/h) :

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

V.5.7 Variation d'insuffisance de dévers (dI/dt) :

Taux exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps. La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule **:** $\frac{dI}{dt} = \frac{I * Vmax}{3.6 * Lrp}$

Tableau V-3 Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)

	Formule		Application	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Dévers maximal d(mm)	-	-	**160**	**180**
Rmin $= \frac{11.8*V_{max}^2}{d_{max}+I_{max}}$	$\frac{11.8*V_{max}^2}{d_{max}+I_{max}}$	$\frac{11.8*V_{max}^2}{d_{max}+I_{max}}$	**1842**	**1680**
Longueurs minimales des alignements (m)	$\frac{\mathbf{Vmax}}{2}$	$\frac{\mathbf{Vmax}}{3}$	**110**	**73**
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{\mathbf{Vmax}}{2}$	$\frac{\mathbf{Vmax}}{3}$	**110**	**73**
Insuffisance de dévers admissible I (mm)	-	-	**150**	**160**
Excès de dévers admissible E (mm)	-	-	**110**	**130**
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur dd/dl (mm/m)	$\frac{180}{\mathbf{V}max}$	$\frac{216}{\mathbf{V}max}$	**0,818**	**0,982**
Limite de la variation d'insuffisance de dévers dI/dt (mm/s)	-	-	**75**	**90**
Variation de dévers en fonction du temps (mm/s)	-	-	**50**	-

V.6 Application au projet :

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

- **Application au projet pour R = 3500 m :**
  - **Dévers théorique :** $\mathbf{d_{th}} = \frac{11.8*Vmax^2}{R} = \frac{11.8*220^2}{3500} = 163.18$ mm.
  - **Le coefficient de dévers :** $\mathbf{C = 0.006*V_{max}^2} = 0.006*220^2 = 290.4$

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

$$0.5 < \frac{C}{0.0118*V_{max}^2} = 0.53 \leq 0.7$$ vérifie. Donc on prend c = 300.

- **Le dévers pratique (d_p) :**

$$\mathbf{d_p} = \frac{1000*c}{R} = \frac{1000*300}{3500} = 85.71 \text{ mm}$$

on prend **d_p= 100 mm < d max = 160mm**. ⟹ **Vérifié.**

- **Insuffisance de dévers : I = d_{th}– d_p**= 163.18 – 100 = 63.18mm.

63.18mm < Imax = 150 mm. ⟹ **Vérifié.**

Tel que : d_{th} Dévers théorique des trains rapides.

- **Excès de dévers : E = d_p – d_{th}** = 100 - $\frac{11.8*V_m^2}{R}$ = 100 - $\frac{11.8*100^2}{R}$ = 66.29mm

66.29mm < Emax = 110 mm. ⟹ **Vérifié.**

Tel que : d_{th} Dévers théorique des trains marchandises.

- **La longueur de clothoïde :** on à la variation de dévers dd/dL=dp/Lrp

et on a dd/dL=180/Vmax alors **: Lrp =** $\frac{dp}{\frac{dd}{dL}}$ = $\frac{dp}{\frac{180}{Vmax}}$ = $\frac{100}{\frac{180}{220}}$ = 122.22m.

On prend Lrp = 130m.

- **Variation de dévers :**
  - En fonction de la longueur :

dd/dL = 100/130 = **0.77mm/m < 0.82 mm/m.**

  - En fonction du temps

dd/dt = $\frac{\text{dp} \times \text{Vma}x}{3.6 \times \text{Ladopté}}$ = $\frac{100 \times 220}{3.6 \times 130}$ = **47 mm/s < 50 mm/s.**

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

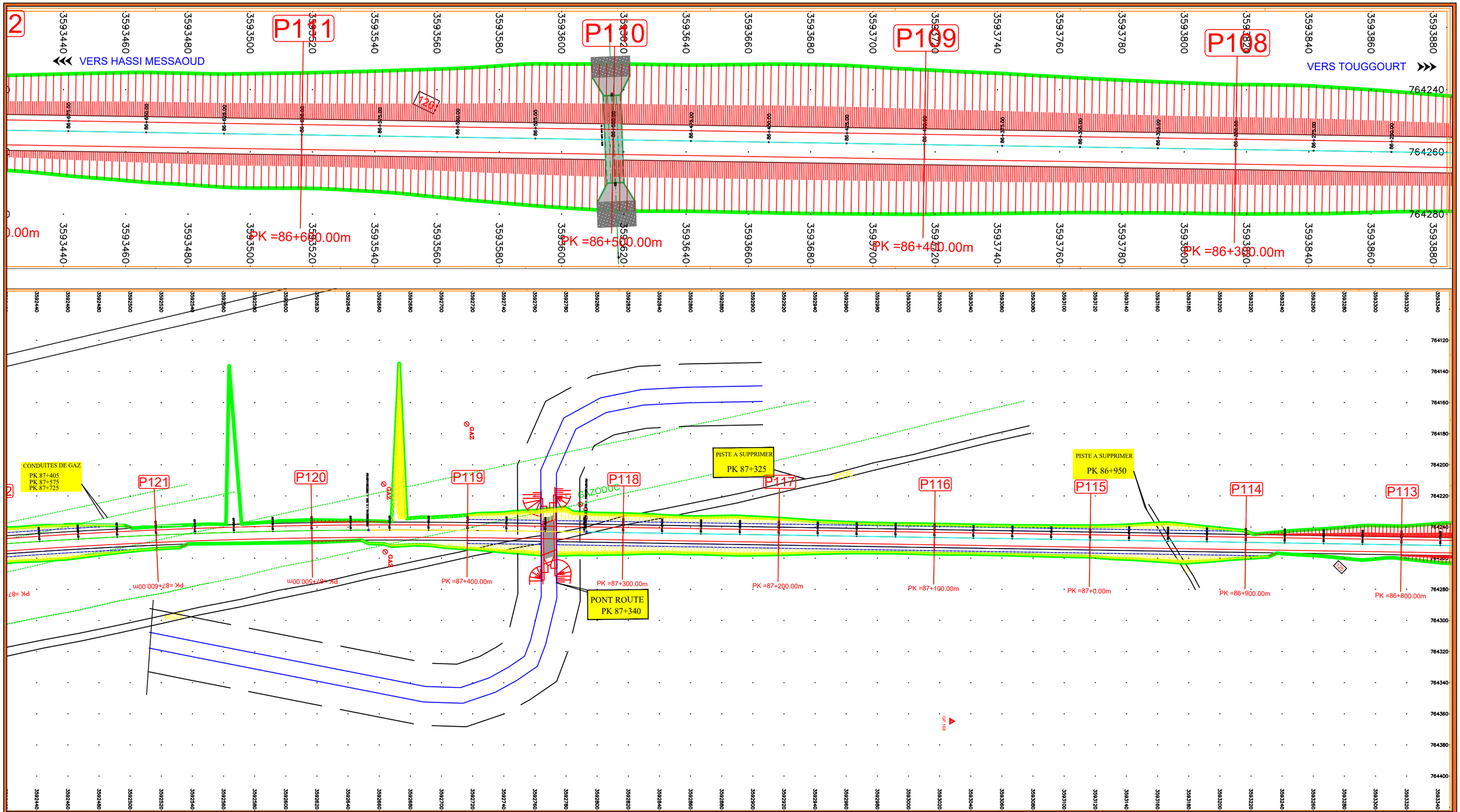
dI/dt = (I*V_{max})/(Lrp*3,6) = (63.18*220) / (130*3.6) = **29.7mm/s < 75 mm/s**

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

Tableau V-4 Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

Rayon (m)	Vitesse Km/h		dth (mm)	dp (mm)	dp adopté	I (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dd/dt (mm/s)	dI/dt (mm/s)
	Voy	Mar										
-	-	-	$\frac{11.8xVmax2}{R}$	1000x(C/R)	-	dth-dp	$dp - \frac{11.8xVmin2}{R}$	dp/dd/dL	-	dp/Lrp	(dp*Vmax) / (Lrp*3.6)	(I*Vmax) /(Lrp*3,6)
10000	220	100	57,11	30,00	35	22.11	23.2	42.78	110	0.32	19.44	12.28
4500	220	100	126,92	66,67	80	46,92	53,78	97,78	120	0,67	40.74	23,89
3500	220	100	163,18	85,71	100	63,18	66,29	122,22	130	0,77	47	29,70

NB : le tracé est réalisé à l'aide de logiciel COVADIS 16.0f et les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe.



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N°Planche	Année universitaire
ETUDE APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TOUGGOURT- HASSI MESSAOUD SUR LE TRONÇON DU PK 76+000 AU PK 96+725 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE LA NOUVELLE VILLE DE HASSI MESSAOUD	Tracé en Plan Du PK 86+250 au PK 87+675	- REDJEM - REMITA	DERRADJI AYYACHI	1/1000 1/2000	1	2022 / 2023

CHAPITRE VI : PROFIL EN LONG

VI. Profil en long

VI.1 Introduction :

La construction du profil en long est en effet une tâche cruciale dans l'évaluation d'un projet ferroviaire, notamment du point de vue économique. Elle permet d'estimer la quantité de terrassements nécessaires, c'est-à-dire la quantité de déblais et de remblais à réaliser, ainsi que la conception des ouvrages d'art, des tunnels et autres éléments du tracé ferroviaire.

Le profil en long est la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet. Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

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

VI.2 Définition :

- **Profil en long du terrain naturel :**

Le profil en long est une représentation en plan vertical du terrain naturel le long du tracé ferroviaire. Il est utilisé comme référence pour concevoir le profil en long du projet ferroviaire.

- **Profil en long Du Projet :**

Le profil en long représente l'alignement vertical du projet ferroviaire, montrant l'allure générale du tracé de la voie ferrée. Il est généralement constitué d'une succession d'alignements droits reliés par des courbes circulaires.

VI.3 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

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

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long. (aspect géométrique)
- Respecter la valeur maximale des pentes 16 ‰.
- La pente doit être nulle dans les zones neutres et dans les gares.
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements. (aspect géométrique)
- Eviter aux maximums les angles rentrant pour éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement. (aspect hydrologique)
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux. (aspect hydrologique)
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais. (aspect économique)
- Eviter une hauteur excessive en remblai et en déblais.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

VI.4 Les éléments de profil en long :

- **Pente :** c'est la partie du tracé qui définit la descente.
- **Rampe :** c'est la partie du tracé qui définit la montée
- **Palier :** c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale
- **Courbes de raccordement verticales :** ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

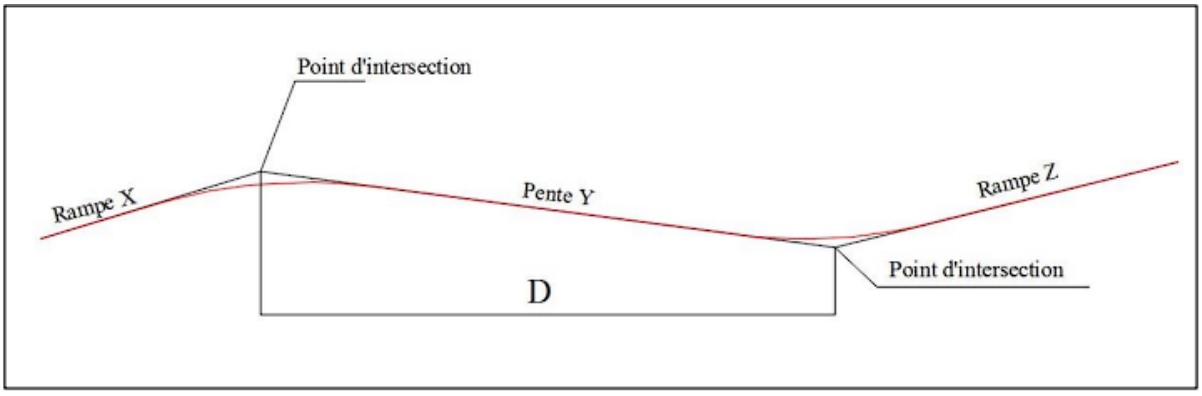


Figure VI-1 Eléments géométriques du profil en long.

VI.5 Déclivité :

La déclivité du profil en long est la tangente de l'angle formé par le tracé vertical et l'horizontale. Elle est également appelée "pente" lorsque le terrain descend et "rampe" lorsqu'il monte

VI.5.1 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‰.

La vigueur ci-après précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

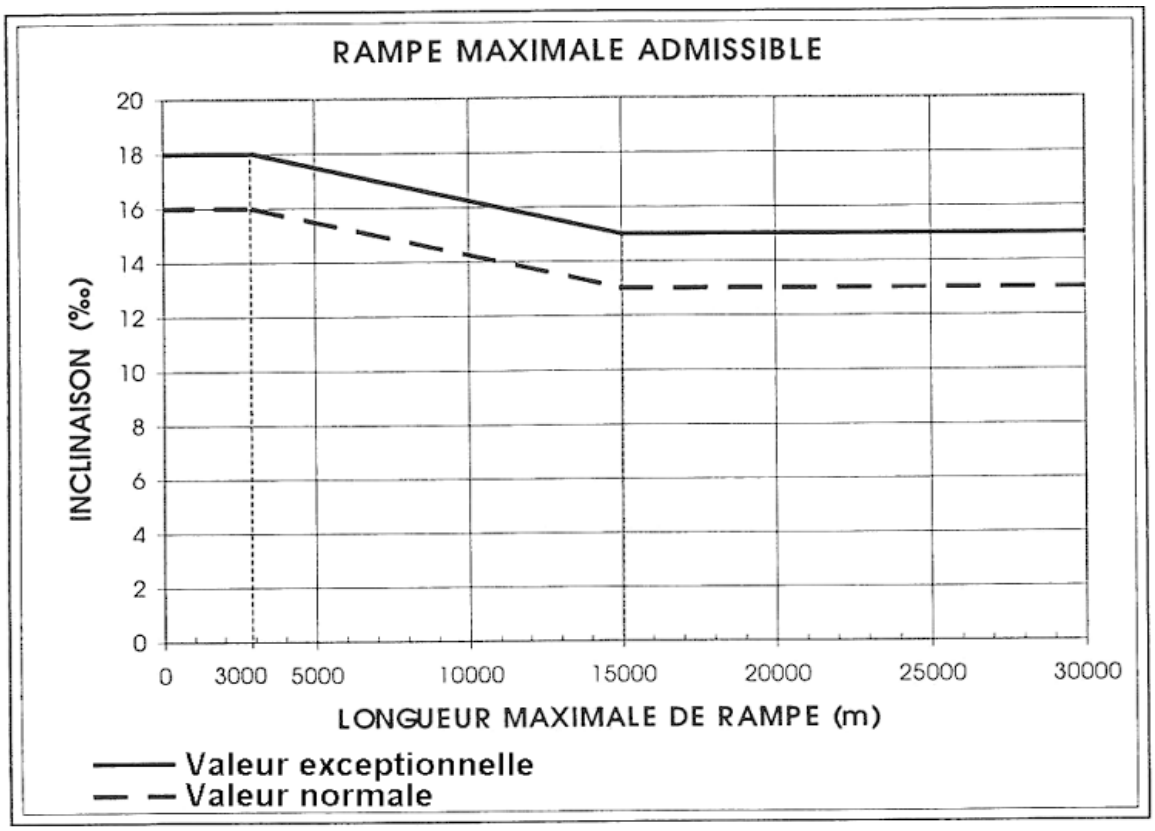


Figure VI-2 Les valeurs maximales de déclivité de profile en long (source : SNTF)

VI.6 Rayon admissible en raccordement de profil en long :

Les valeurs des rayons minimaux admissibles en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon Rv, il est soumis à une accélération centrifuge :

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $a_v=\frac{Vmax^2}{3.6^2*R_v}$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, avec V=220km/h : (**Source :** Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie).

Tableau VI-1 Valeurs de Rayon vertical minimale

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

VI.7 La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil :

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule. La valeur de la longueur minimale des déclivités constantes est donc limitée à :

Tableau VI-2 La longueur minimale des déclivités

Valeur normale	V/2 = 110m
Valeur exceptionnelle	V/2,5 = 88m

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

- Il ne doit pas y avoir d'interférence entres les courbes de transition en plans (clothoïde) et les courbe de raccordement en profil en long.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe.

La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

VI.8 Application au projet :

Le terrain de région d'étude est pratiquement plat, avec quelques dénivellations au début de tronçon.

Le profil en long est pour sa plupart ascendant (dans le sens Touggourt – Hassi Messaoud), avec des déclivités aux moyennes qui varieront de 0 ‰ jusqu'à 13 ‰. Le profil en long est en remblais plus que déblais pour des raisons liées à l'ensablement Donc on a trois zones des déblais.

Tableau VI-3 Récapitulatif des paramètres de profil en long (SNTF)

		Formule		*Application*	
		Normal	***Exceptionnel***	***Normal***	***Exceptionnel***
Déclivité maximale	**L<3000 m**	**-**	**-**	**16 ‰**	**18 ‰**
	3000<L>15000 m	**-**	**-**	**16 ‰ à 13 ‰**	**18 ‰ à 15 ‰**
	L>15000 m	**-**	**-**	**13 ‰**	**15 ‰**
	Gares	**-**	**-**	**0**	**0**
Rayon minimal en raccordements verticaux (m)	**-**	**$0.35V^2$**	**$0.25V^2$**	**16940**	**12100**
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)	**-**	**V/2**	**V/2,5**	**110**	**88**

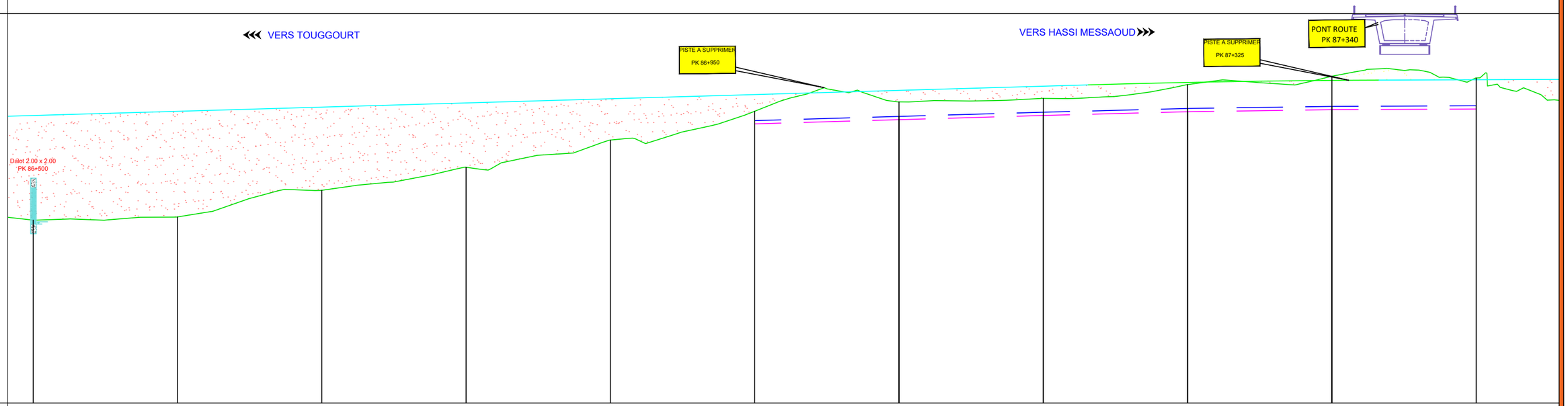
NB : les éléments du profil en long sont représentés dans l'annexe.

VI.9 Les contraintes le long du tracé :

- Lignes d'électricités de haute tension (HT) au PK 80+375 et PK 80+725 et PK 81+600.
- Conduites de gaz au PK 87+406, PK 87 579, PK 87+718, PK 87+795 et PK 93+465.
- passage supérieur (pont route) au PK 83+535, PK 87+340 et au PK 95+637.

VI.10 Conclusion :

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



COVADIS

Axe : PFE 23

Profil dessiné par AutoPISTE

Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/100

PC : 106.00 m

| | | |

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VII. Etude géotechnique et géologique

VII.1 Introduction :

L'étape la plus importante dans la conception d'un projet de construction est l'étude géotechnique et géologique, car elle permet d'analyser le terrain et de prendre en compte les caractéristiques du sol et du sous-sol pour assurer la stabilité de la construction. Cette étude est effectuée grâce à des techniques telles que les carottages et les analyses en laboratoire, aussi bien in situ que sur des échantillons prélevés.

L'étude géologique sera la première étape de cette analyse, où nous nous baserons principalement sur l'histoire du site pour comprendre l'évolution géologique de la région et les caractéristiques géologiques de la zone d'étude. Cela nous permettra d'avoir une vision plus claire des caractéristiques du sol et du sous-sol du site.

VII.2 L'étude géologiques :

VII.2.1 Introductions :

Il s'agit d'une discipline scientifique qui se concentre sur la description et l'explication de la composition, de l'origine et de la disposition des formations rocheuses, des terrains et autres éléments de la lithosphère.

VII.2.2 Géologie régionale :

Le tracé étudié est localisé au sud-est de l'Algérie entre les villes de Touggourt (au N-E) et Hassi-Messaoud (au S-E) de la wilaya de Ouargla, située dans le bassin sédimentaire du Sahara central, qui est une zone de dépôt de sédiments riches en hydrocarbures. Les formations géologiques les plus anciennes dans la région sont constituées de roches métamorphiques du Précambrien, tandis que les couches plus jeunes sont principalement constituées de roches sédimentaires telles que le grès, le calcaire et l'argile. La figure 1 montre le secteur géologique où se situe la zone d'étude.

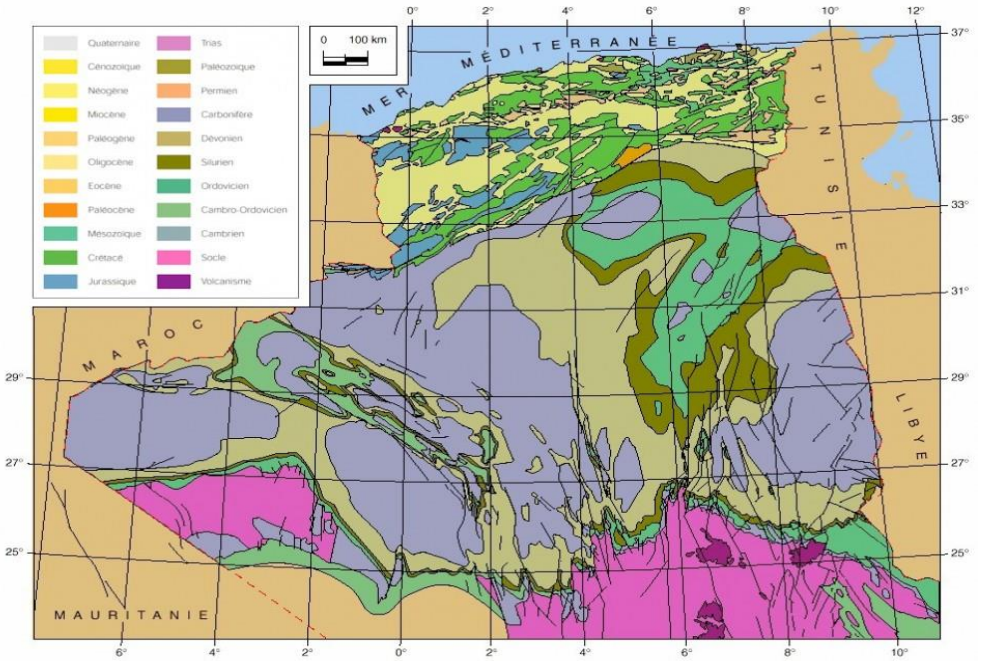


Figure VII-1 Situation de la zone d'étude

VII.2.3 Géomorphologie :

Le tracé va traverser déférents composants géographiques dont les principaux sont les suivantes :

- **Les plaines :** la partie sud du tracé du pk 50+000 au pk 150+000 traverse des grandes surfaces plaines qui s'étendent sur des km, couvertes essentiellement par des matériaux détritiques Mio-Pliocène et Plio-Quaternaire.
- **Le grand Erg oriental :** il est observé dans la partie nord de tracé dans la région de Touggourt, où les dunes de sables peuvent atteindre des dizaines de mètre de hauteur, ce qu'est a rendu la zone inaccessible.
- **Les Regs :** des étendues caillouteuses formés de graviers et de galets.

VII.2.4 Contexte géologique de ce tronçon :

Le tracé va traverser des formations détritiques d'âge Quaternaire et Mio-pliocène :

Du Pk 76+000 au Pk 96+725 :

Le tracé va traverser des surfaces plaines constitués de sables fins à grossiers, renferment des galets et des cailloux de nature calcaire et gréseux.

Les sondages réalisés sur ce tronçon, montrent que le terrain est constitué de sables fins moyen à grossiers jusqu'à 15m de profondeur (fin de sondage), avec parfois des intercalations argileuses et gypseuses.

La gare prévue dans la ville nouvelle de Hassi-Messaoud, ce situe dans des terrains pratiquement plats couvert de sables fins et grossiers, renferment des cailloux.

VII.2.5 Hydrogéologie :

Sur le plan hydrogéologique, la zone d'étude appartienne au Bas-sahara, il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, on distingue deux grandes séquences géologiques contenant des aquifères profonds, multicouches, captifs dans la partie centrale de ce bassin

- **Le Continental Intercalaire :** formations continentales principalement d'âge mésozoïque (du Trias à l'Albien), gréseuse avec des intercalations argileuses.
- **Le Continental Terminal :** ce sont des formations essentiellement détritiques, sableuses ou gréso-argileuses, d'âge Eocène moyen à Pliocène.

La remonté des eaux très salées de la nappe phréatique dans la région Sud-est algérien, à causés des problèmes environnementale et écologique néfaste sur la dégradation des ouvrages hydrauliques, des ouvrages de génie civil, et sur les voies ferrées.

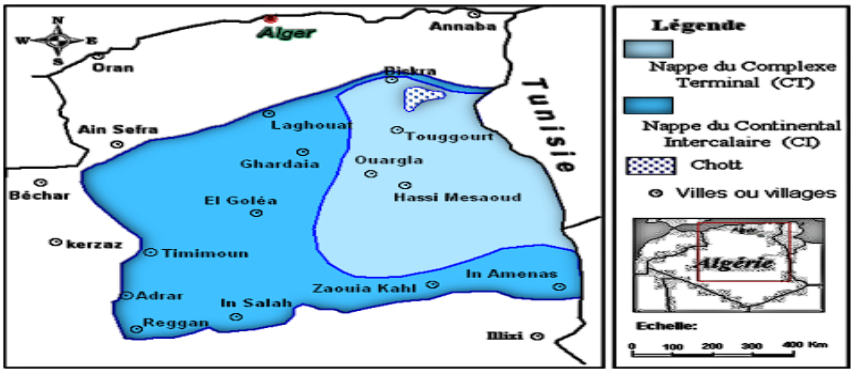


Figure VII-2 Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe

VII.2.6 Sismicité de la région :

La région étudiée à savoir la wilaya de Ouargla et de Hassi Messaoud est caractérisée par une sismicité négligeable (zone 0).

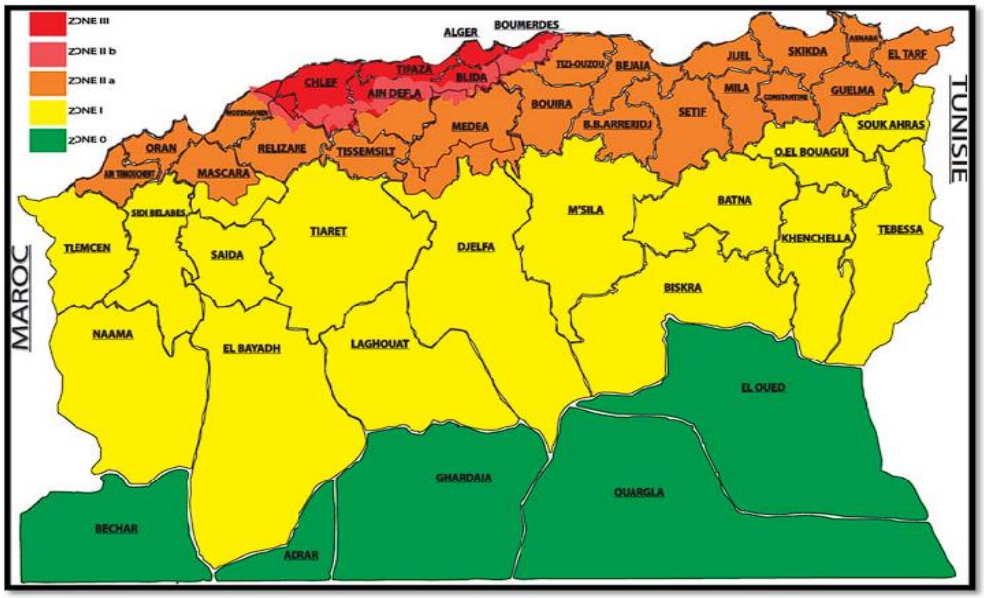


Figure VII-3 Zone sismique en Algérie

VII.3 Etude géotechnique :

L'étude géotechnique a pour objectif de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du sol sur lequel le projet sera construit. Afin d'y parvenir, une campagne de reconnaissance a été menée le long du tracé de la voie ferrée ainsi que dans les zones où les matériaux seront empruntés. Dans la suite de notre article, nous présentons un aperçu des travaux réalisés sur la portion de 20 km de notre projet (source : rapport géotechnique). Le but de ces travaux de reconnaissance est de définir la stratigraphie le long du tracé, de caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés pour dimensionner correctement l'assise, d'évaluer la stabilité des talus des déblais et remblais, ainsi que de déterminer les conditions de réutilisation des sols excavés pour le projet étudié.

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 du déblai (m)	Essai géotechnique		
		Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
76+675	2.16	- 01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2.5	- Essais d'identification physique (G, γ, W..). - Proctor modifié. - CBR
78+375	3.25	- 01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	2.5	- Essais d'identification physique (G, γ, W..). - Proctor modifié. - CBR.

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 du remblai (m)	Essai géotechnique		
		Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
77+725	9	- 01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essais d'identification. - Proctor modifié. - CBR
79+575	6.45	- 01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essais d'identification. - Proctor modifié. - CBR
83+900	6.95	- 01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3	- Essais d'identification. - Proctor modifié. - CBR

VII.3.1.3 Lot ouvrage d'art et bâtiment :

Afin de fournir les données nécessaires pour construite la futur gare voyageur, un programme géotechnique sera établi et donné dans le tableau au-dessous, pour cela on prévoit la réalisation des essais suivants :

Tableau VII-3 programme géotechnique pour le bâtiment voyageur.

Ouvrage	Localisation	Essai géotechnique		
		Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
Gare (Bâtiment voyageur).	95+925	- Puit de reconnaissance. - Sondage carotté. - Pénétromètre dynamique.	3 15 Au Refus	- Essais d'identification physique. - Proctor modifié. - CBR. - Analyses chimiques
Passage supérieur (pont routier)	83+535	- Pénétromètre dynamique.	Au Refus	
Passage supérieur (pont routier)	87+350	- Pénétromètre dynamique.	Au Refus	

Passage supérieur (pont routier)	95+637	- Pénétromètre dynamique.	Au Refus	

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

VII.3.2.1 Programme d'essai

01 sondages, carottés de profondeur de 15 m, avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.

Des essais au Standard Pénétration Test dans le trou de forage du sondage

- 6 puits de reconnaissance de 2.50 à 3 m de profondeur à l'aide d'une pelle mécanique.
- 8 essais au pénétromètre dynamique ont été réalisés jusqu'au refus.

VII.3.2.2 Sondage réalisé :

- **Sondage carotté :**

Les sondages carottés consistent à prélever un échantillon cylindrique de terrain de manière à obtenir des informations représentatives sur les formations géologiques en place. Pour cela, il est possible d'utiliser un carottier poinçonneur ou rotatif pour découper le terrain de façon la plus intacte possible. Les informations obtenues à partir des sondages carottés permettent de visualiser les caractéristiques des matériaux excavés, de les évaluer en vue de leur réutilisation, et de fournir les données nécessaires pour calculer les inclinaisons des talus de manière précise.

Les sondages carottés seront réalisés au droit des gares, équipés par des piézomètres.

- **Puits de reconnaissance :**

Les puits de reconnaissance représentent un forage dans la terre permettre d'observer directement en profondeur la nature des formations présentes, et de procéder au prélèvement d'échantillons remaniés pour l'identification et la caractérisation géotechnique en laboratoire.

Les puits seront exécutés à la pelle mécanique sur une profondeur de 3m sur la section de déblais ou remblais le long de tracé.

VII.3.2.3 Essai in situ :

Il faut procéder à différents essais in situ notamment l'essai de pénétration dynamique.

- **Essai 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 cm2 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.

VII.3.2.4 Résultats obtenus :

- Les formations géologiques mises en évidence par le sondage carotté SC1 est constituée par :

Tableau VII-4 les résultats de l'essai carottage.

Pk du sondage	Profondeur du sondage(m)	Description
SC1 PK 95+925	1.5 – 2	Sables fins de couleur rougeâtre peu compact et peu puissants.
	2 - 15	Sables beiges à jaunâtre grossier et compact.

- Les puits à ciel ouvert ont permis de tracer le tableau ci-après :

Tableau VII-5 Résultats et nature lithologique des puits de reconnaissance

Puits de reconnaissance	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
PR 23	76+675	2.5	Sables jaunâtres, grossiers, moyennement compact à compact.
PR 24	77+725	3	
PR 25	78+375	2.5	Sables beiges moyennement compact et contenant du gypse à peu de gypse.
PR 26	79+575	3	
PR 27	83+900	3	Sables jaunâtres, grossiers, moyennement compact à compact.

- **Capacité portante :**

Tableau VII-6 Résume des essais de pénétration dynamique effectués

Désignation PDL	Pk	Objectif	Profondeur (m)	Résistances de pointe (Rp)	
				Prof. (m)	Rp(bars)
PDL1	77+025	Fondation de remblai / Dalot	2.10	0 – 1.5	50 - 100
				> 1.5	> 100
PDL2	77+700	Fondation de remblai / Dalot	3.90	0.2 – 1.7	100
				1.7 - 3	30 - 50
				3 – 3.9	50 - 100
PDL3	78+050	Fondation de remblai / Dalot	1.70	0.2 – 1.5	25 – 50
				1.5 – 1.7	> 100
PDL4	83+535	Passage supérieur (pont routier)	7.20	1 – 6.3	85 - 95
				6.3 – 7.2	> 100
PDL5	83+900	Fondation de remblai / Dalot	4.10	0.1 – 2.5	25 – 50
				2.5 – 4.1	> 100
PDL6	86+500	Fondation de remblai / Dalot	7.20	0 – 1.3	70 – 80
				1.3 – 7.2	90 - 100
PDL7	87+350	Passage supérieur (pont routier)	3.2	0 - 1	75 - 80
				1 – 2.7	80 - 90
				2.7 – 3.2	> 90
PDL8	95+637	Passage supérieur (pont routier)	8	0.8 - 7	80 - 120
				7 – 8	> 120

D’après les résultats des essais au pénétromètre dynamique, nous permet de constater qu’il existe des similitudes entre les diagrammes des différents essais ; dénotant une homogénéité des terrains investigués.

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

VII.3.3 Essai en laboratoire :

Les échantillons collectés lors des sondages et des puits de reconnaissance pendant la campagne de reconnaissance ont été transportés jusqu'au laboratoire. Au laboratoire, des tests

ont été effectués sur ces échantillons, qu'ils soient intacts ou remaniés, pour identifier leurs propriétés physico-chimiques et déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

VII.3.3.1 Essais réalisés :

- **Essais d'identification :**

- Analyse granulométrique.
- Teneur en eau et saturation.
- Le poids spécifique γd.

- **Essai mécanique :**

- Essais Proctor modifié.
- Essai CBR immédiat.

- **Essai Chimique :**

Dans une optique d'avoir une idée générale sur le degré d'agressivité du sol, il été procédé aux analyses chimiques sommaires, comprenant les tests suivants :

- Analyse sommaire chimique du % de sulfates (SO4-2).
- % de gypse, chlorure.

VII.3.3.2 Résultats des essais au laboratoire :

- A partir des sondages carottés :

Tableau VII-7 Résultats des essais en laboratoire

Sondage	SC1	
Echantillon prélevé à	0.0/1.50 m	5.00/7.00 m
Nature du sol prélevé	Sable fin brunâtre	Sable beige, grossier
Wn (%)		
γ_d (t/m^3)	1.57	1.28
0.4 mm	38	40
< 80µ (%)	15	5
WL %	-	-
Wp %	-	-
Ip %	-	-
Cu bars	0.02	0.05
φu °	35.17	32.09
% gypse	1.34	2.45
% $SO4^{--}$	0.25	0.45
% Chlorure	0.023	0.075

- **Interprétation des résultats :**
  - Les passants à 80µm sont compris entre 5 et 15% selon la classification LPC il s'agit des sables fins à moyens propres mal gradués. En général le coefficient de Hazen d_{60}/d_{10} est inférieur à 2 il s'agit donc des courbes granulométriques non étalées (serrées).
  - Les passants à 0.4 mm sont de l'ordre de 40% donc c'est un sable grossier.

- **A partir des puits de reconnaissance :**

Tableau VII-8 Résultats des essais en laboratoire

Puits	Dmax mm	Granulométrie			Essai Proctor		CBR à 95% OPM	Teneur en gypse	Classification GTR	Classification UIC
		< 0.4 mm	< 80µm	Ip	Wopm	γopm (t/m3)				
PR23	<50	40	4	-	5.3	2.03	10.61	5.50	D2-B3	QS2
PR24	<50	57	12	-	7.8	1.94	18.19	3.85	D2-B3	QS2
PR26	<50	68	8	-	8.6	1.90	21.89	8.01	D2-B3	QS2
PR27	<50	72	5	-	9.8	1.86	27.79	1.47	D1-B1	QS2
PR28	<50	22	2	-	3.2	1.82	11.84	4.77	D2-B3	QS2

- **Interprétation des résultats :**
  - L'analyse granulométrique donne la valeur de Dmax <50mm, et un % des fines très petit de l'ordre de 4 à 12%, Ces résultats montrent qu'on est en présence d'un terrain à prédominance d'un sable grossier.
  - selon la classification GTR, les sols appartiennent principalement à la classe D1 ou D2 ou B3 (sols insensibles à l'eau) ;
  - Et selon la classification UIC 719R le sol traversé par la ligne ferroviaire est classé dans la classe **QS2**, c'est-à-dire des sols « moyens ».
  - Les sols constitués des sables grossiers de densités sèches max moyennes à bonnes ayant un taux de gypse de l'ordre de 1.47 à 8.01 %.
  - Les résultats des limites d'essai Proctor sur les échantillons ont donné Les valeurs de densités optimale (γd_{OPM}) varient entre 1,82 t/m3 et 2.03 t/m3 , Et des teneurs en eaux optimales (W_{OPM}) varient entre 3.2 % et 9.8 %, Ces résultats montrent que le matériau analysé, présente une forte densité au compactage.
  - Les essais de portance CBR ont donné bonne valeurs d'indices CBR à 95% de compacité, les valeurs obtenus varient entre 10.61% et 27.79%.

NB : Pour les sols D2 constituent les meilleurs matériaux de construction des remblais, par contre les sols D1 peuvent poser surtout si leur granulométrie est uniforme, des problèmes de traficabilité

- **Analyse chimique du sol :**

Les résultats de l'analyse chimique du sol au niveau de sondage carotté montrent qu'il y a une **agressivité modérée vis-à-vis du béton**, comme on peut le voir ci-dessous :

Tableau VII-9 quantité d'éléments chimiques dans le sol.

N° Sondage	Profondeur (m)		Gypse	SO_4^{-2}	Chlorure Na Cl	Observation
	De	À				
SC1	0	1.5	1.34	0.25	0.023	Agressivité modéré
	5	7	2.45	0.45	0.075	

- l'échantillon de sol analysé présente un degré d'agressivité 2.45 à 0.023 vis à vis du béton. Des mesures de précaution particulière à prendre pour la confection du béton au contact de ce sol. Le ciment ordinaire n'est pas toléré pour la fabrication du béton au contact de ce sol.

VII.4 Réutilisation des matériaux excavés :

Selon la norme UIC719f_194c (voir annexe A), les sables grossiers ayant un taux de gypse faible à moyen peuvent être utilisés en remblai moyennant il est recommandé de procéder à une protection contre les infiltrations d'eau dans le corps de remblai.

VII.5 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 grossiers avec un taux de gypse faible dont la majorité de classe est QS2.

CHAPITRE VIII : Etude hydrologique et hydraulique

VIII. Etude hydrologique et hydraulique

VIII.1 Introduction :

Le but principal de l'étude est de fournir les éléments hydrologiques nécessaires à la réalisation de l'extension de la ligne Touggourt-Hassi Messaoud afin de déterminer un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure et pour améliorer la portance de la plateforme.

Le tracé traverse un certain nombre de cours d'eau dont les crues sont à évaluer pour prémunir la voie ferrée. On va déterminer les bassins versants qui traversent la voie ferrée, la pluviométrie de la région ainsi que les débits maximale (Q100) des bassins versants calculés avec la formule rationnelle afin de dimensionner les ouvrages hydrauliques.

VIII.2 Objectifs de l'assainissement et du drainage :

La construction des assainissements et du drainage d'un projet a pour but :

- L'évacuation optimale des eaux pluviales ;
- L'économie de cout d'entretien ;
- La protection de la voie contre l'inondation ;
- La lutter contre la corrosion des éléments de la superstructure de la voie surtout le rail.

VIII.3 Etude hydrologique :

L'étude hydrologique comprend la délimitation des bassins versants qui sont interceptés ainsi que leurs caractéristiques physiques qui servent de référence pour l'analyse des écoulements. Par ailleurs, cette étude inclut également l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

La zone d'étude se situe au Sud-est de l'Algérie, et fait partie du bassin versant du Sahara codé (13) d'après le classement de l'ANRH (Figure VIII-1) ; ce dernier appartient à l'unité hydrogéologique du Sahara Septentrionale qui s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassilis au sud sur une superficie de 720 000 Km² et dont une grande partie est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km².

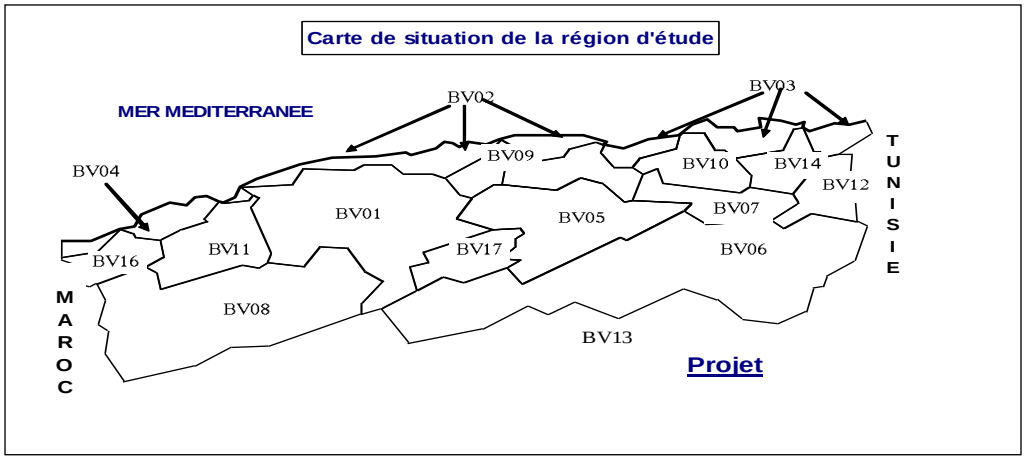


Figure VIII-2 Situation géographique du projet.

VIII.3.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

Le bassin versant ou bassin d'alimentation au droit d'une section de mesure, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section.

Chaque bassin versant est séparé des autres par la ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique. L'axe du tracé représente l'autre limite du bassin versant.

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

Le PK (Point Kilométrique) sert de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'oued. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

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.

Le tracé du réseau hydrographique a été établi en numérisant le talweg ou le cours d'eau principal. La densité de drainage est visiblement faible sur le long du tracé.

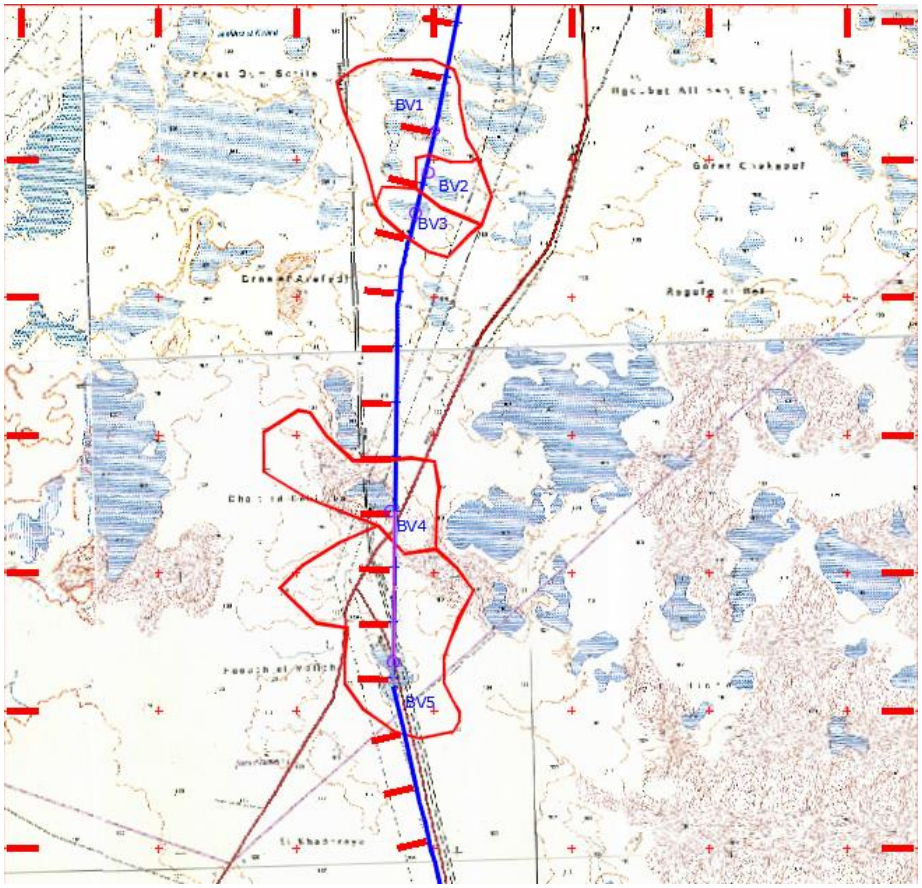


Figure VIII-3 délimitation des bassins versants.

Selon la carte d'état majors le tronçon objet de l'étude de PK 76 a PK 98 traverse cinq bassins versants : BV 1 – BV5.

VIII.3.1.1 Caractéristiques morphologiques :

Après délimitation des bassins versant sur carte topographiques au 1/50 000 en utilisant logiciel – Autocad ; on calcule les paramètres suivants :

- S (km2) : Surface du bassin versants (Km²).
- P (km) : Périmètre.
- L (km) : Longueur du talweg (Km).
- H_{max}(m) : Altitude max.
- H_{min}(m) : Altitude min.
- H_{moy}(m) : Altitude moyenne.
- L'indice de compacité de GRAVELIUS « Kc » ; Kc= $\mathbf{0.\ 28}\ P/\sqrt{A}$ (caractérise la forme du BV).
- P [m/m] : pente du talweg principal → P [m/m] =Hmax-Hmin/L.
- TC (h) : Temps de concentration en heures.
- Cr : Le coefficient de ruissellement.

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

Tableau VIII-1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

N, ° du BV	PK	S [km2]	P [km]	L [km]	H, max [m]	H, min [m]	H, moy [m]	P [m/m]	Kc
1	77+025	6,62	10,13	2,22	123	104	113.5	0,0085	1,10
2	77+700	1,16	4,26	1,44	123	109	116	0,0097	1,10
3	78+000	1,29	4,85	1,23	123	110	116.5	0.0106	1,19
4	83+900	4,64	11,27	3,54	129	108	118.5	0,0059	1,46
5	86+500	6,41	10,61	2,59	126	115	120.5	0,0042	1,17

VIII.3.2 Caractéristiques climatiques et pluviométriques :

VIII.3.2.1 Climat :

La région est caractérisée par un climat très chaud en été (souvent plus de 40°) et très froid en hiver. 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, qui est l'une des particularités au Sahara.

Avec la chaleur, l'été, 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.

VIII.3.2.1.1 Les Températures :

Tableau VIII-2 températures moyennes mensuelles (Source ONM).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tc°	9,9	12,5	15,4	19,5	24,6	29,9	32,7	32,3	27,4	20,8	14,5	10,3

Le gradient de température moyenne du mois le plus froid au mois le plus chaud varie de 9.9°C à 32.7°C pour la région.

Les mois les plus chauds correspondent à juillet et août, la température moyenne est supérieure à 30°C. Les mois les plus froids sont enregistrés de décembre à février.

VIII.3.2.1.2 Humidité de l'air :

Dans le tableau suivant sont mentionnées les humidités de l'air mensuelle pour la station de Touggourt :

Tableau VIII-3 Humidités relatives mensuelles en % (Source ONM).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité en %	65,5	58,0	51,2	47,0	41,6	38,7	34,2	37,0	47,6	55,9	63,7	67,2

VIII.3.2.1.3 Le Vent :

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

Tableau VIII-4 vitesses du vent mensuelles en m/s (Source ONM).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent en m/s	2,9	3,4	4,0	4,7	4,2	4,4	3,5	3,5	3,2	2,8	2,5	2,8

VIII.3.2.2 La pluviométrie :

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l ' Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l ' Office National de la Météorologie (O N M). Il s'agit d'observations journalières actualisées et reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M). A partir de ces données mensuelles nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles. La pluie de référence correspond à une durée de pluie variable ; Avec des périodes de retour de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans.

L'ensemble des buses et dalots sont dimensionnés pour une pluie de période de retour de 100 ans.

VIII.3.2.2.1 Pluies annuelles :

La station prise en considération est celle de Touggourt (130414) avec une période d'observation qui correspond à 1912- 2011.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles des stations disponibles dans la région pour différentes fréquences.

Tableau VIII-5 pluies annuelles (mm)

Période de retour	Fréquence	Variable de Gauss U	Pluie annuelle en (mm)
10ans	0.9	1.282	110,6
20and	0.95	1.645	136,8
50ans	0.98	2.054	173,8
100ans	0.99	2.327	203,8

VIII.3.2.2.2 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 VIII-6 répartition des pluies mensuelle station de Touggourt (Source ANRH)

Mois	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	mai	juin	juil	août
P en mm	1,0	5,0	8,9	7,3	5,6	3,1	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	3,4	2,6	0,1	1,1

VIII.3.2.2.3 Précipitations 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.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies maximales journalières des stations de la région pour différentes fréquences.

Tableau VIII-7 pluies maximales journalières (mm).

Période de retour	Fréquence	U.Gumbel	Pmax, j (mm)
10ans	0,9	2,25	**27.4**
20ans	0,95	2,97	**32.1**
50ans	0,98	3,902	**38.3**
100ans	0,99	4,6	**52.9**

VIII.3.2.2.4 Les pluies de courte durée :

Pour obtenir une estimation de la quantité de pluie maximale en 24 heures il faut multiplier la valeur journalière par un coefficient de majoration.

Si on ne dispose pas d'autres indications, on utilisera la valeur proposée par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) de 1,13.

$$P(t) = 1{,}13 \times P_{jmax}\% \, (t / 24)^{b}$$

Pt : Pluie correspondante à un pas de temps t.

$Pj_{\%}$: Pluie journalière maximale de fréquence voulue.

b : Paramètre climatique.

b = 0,14 pour Touggourt

VIII.3.3 Le temps de concentration « tc » :

Il est très important de connaître le temps de concentration, c'est la période pendant laquelle le bassin versant se déversera le plus durant une crue, et son calcul est requis pour avoir le débit.

Le choix des formules de détermination du temps de concentration se fait en fonction de la superficie du bassin versant :

VIII.3.3.1 Formule de Ventura : (Superficie inférieure à 5 Km²)

$$t_c = 0.127\sqrt{\frac{S}{I}}$$

Tc : Temps de concentration en heure.

S : Surface du bassin versant en km².

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

VIII.3.3.2 Formule de PASSINI : (Superficie comprise entre 5 et 25 Km²)

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

Tc : Temps de concentration en heure.

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

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

VIII.3.4 Calcul de l'intensité de pluie :

La valeur de l'intensité de précipitation, pour une période de retour donnée, et correspondant au temps de concentration du bassin versant a été déterminée à partir de l'expression suivante :

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

I : Intensité de la pluie (mm/h).

T*c* : Temps de concentration (h).

P(t) : Hauteur de la pluie de durée T*c*, (mm).

VIII.4 Les Zones inondables :

Ce sont des zones oû la nappe d'eau est très proche de la surface du terrain naturel avec présence d'écoulements importants ce qui a un effet direct sur la fondation des remblais nécessitant des mesures particulières.

Dans le long de tracé on a rencontré **quatre zones inondables** comme illustré dans les figures.

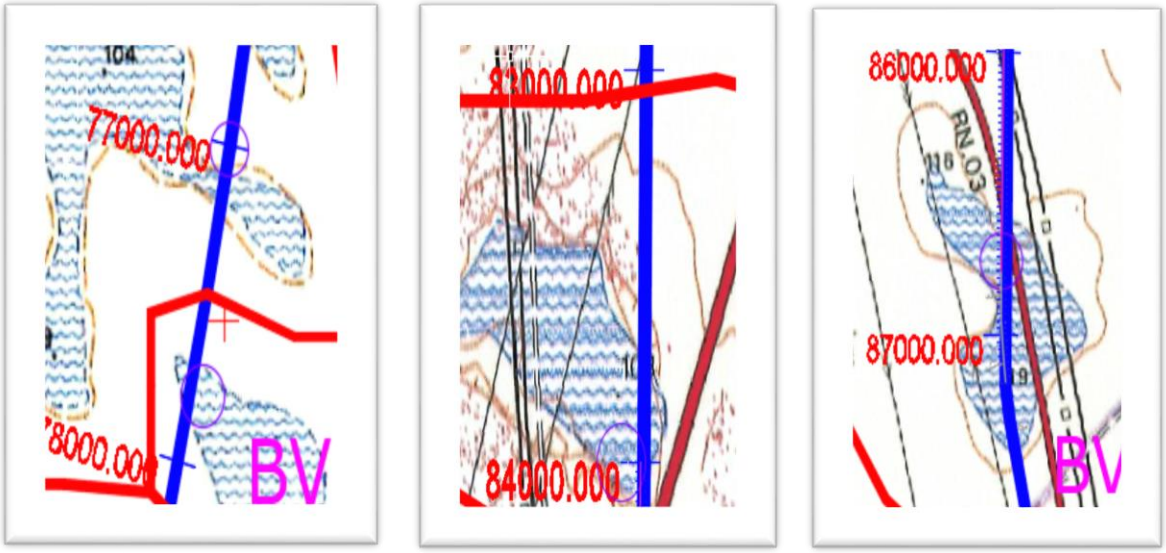


Figure VIII-4 zone inondable du Pk 77+050 au Pk 77+100 et du pk 77+700 au pk 77+750 et du pk+83+700 au pk 84+200 et du pk 86+500 au pk 87+500

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,

Les matériaux constitutifs des tranchées drainantes ne doivent pas contenir de matériaux polluants ou évolutifs.

Au pied de certains remblais il est prévu de simples tranchées drainantes de 0,50 m de largeur et 1,00 m de profondeur remplies de granulats drainants avec un géotextile et tuyau de collecte des eaux.

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

VIII.5 Calcul Hydraulique :

VIII.5.1 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

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

Le débit de projet, débit pris en compte pour les calculs hydrauliques permettant de définir les ouvrages, est le débit égal à la plus grande crue connue ou de fréquence au moins centennale.

VIII.5.1.1 Méthodes utilisées :

L'estimation des débits de projet reste un problème très difficile et ne ressort pas d'une science exacte. Un grand nombre de méthodes sont valables et ne donnent qu'une estimation relative de la grandeur de la crue.

En l'absence de données, on a recours aux formules empiriques ; le choix de ces formules est fait en fonction de la superficie de chaque bassin versant

- **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 :

$$Qa = \frac{C.I.A}{3.6}$$

Avec :

- **Qa :** Débit de crue de fréquence déterminée en m3/s.
- **C :** Coefficient de ruissellement.
- **S :** Surface du bassin versant en (km2).
- **I :** Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

- **Choix du coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Coefficient C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

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

La valeur de C1 est constante et vaut 0,01 correspondant à une pente ≤3.5%.

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

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

La valeur de C2 est 0,1 qui sont associée à un sol peu perméable et est considéré constante pour toute la région.

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

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

La valeur de C3 est constante et vaut 0,04 correspondant à un territoire sableux.

La valeur adoptée de notre projet associé à la période de retour centennal est :

Cr = C1+C2+C3 = 0.01+0.1+0.04 = 0.15.

VIII.5.2 Application au projet :

Tenant compte le bassin versant N° 02 :

- A =1.16 km2.
- I = 0.97 m/m.
- L = 1.44 Km.

➢ **Calcul temps de concentration d'eau Tc :**

A = 1.16 km2 < 5 Km^2 ➔on applique la formule de VENTURA.

Tc = 0.1272 $\sqrt{\frac{A}{I}}$ = 0.1272 $\sqrt{\frac{1.16}{0.0097}}$ = 1.4 h.

➢ **Calcul de l'intensité horaire moyenne (Tc, 100 ans) :**

P(t) = 1.13. P_{jmax}%. $(\frac{t}{24})^b$ = 1.13*52.9*$(1.4/24)^{0.14}$ = 40.16 mm.

I(t) = $\frac{P(t)}{Tc}$ = $\frac{40.16}{1.4}$ = 28.68 mm/h.

➢ **Calcul du de débit maximal dans les bassins Q100 :**

$$\mathbf{Q_a} = \frac{0.15*1.16*28.68}{3.6} = 1.38\ m^3/s.$$

VIII.5.3 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle :

Les débits de pointes calculés par la méthode rationnelle pour une période de retour centennale, et cela pour les bassins versants dont la superficie est inférieure ou égale à 10Km² sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII-8 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	AIRE [Km2]	Cr	L [Km]	P [m/m]	tc [h]	P(t) [mm]	I100 [mm/h]	Q100 [m3/s]
1	6,62	0.15	2,22	0,0085	2.92	44.51	15.24	4.20
2	1,16	0.15	1,44	0,0097	1.40	40.16	28.68	1.38
3	1,29	0.15	1,23	0.0106	1.40	40.16	28.68	1.54
4	4,64	0.15	3,54	0,0059	3.57	45.78	12.82	2.48
5	6,41	0.15	2,59	0,0042	4.33	47.03	10.86	2.90

VIII.6 Etude d'assainissement :

VIII.6.1 Introduction :

Le facteur de l'eau peut entraîner des conséquences nuisibles sur un projet, surtout s'il affecte la fonctionnalité et la sécurité de la voie ferrée. Pour éviter cela, il est crucial de ne pas obstruer les écoulements naturels d'eau avec le tracé ferroviaire projeté, mais plutôt de les dévier vers un exutoire à l'extérieur de la zone d'emprise de la voie.

VIII.6.2 Les ouvrages transversaux :

Ils permettent le transit, d'un côté à l'autre de la plateforme ferroviaire, des écoulements des Eaux venant des bassins versants. Ils peuvent être constitués de :

- **Buses :** ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé sur les points bas du terrain, d'un diamètre de 1000 à 2000 mm.
- **Dalots :** ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifié par la largeur (B) et la hauteur (H).
- **Ponts et viaducs.**

Ces ouvrages hydrauliques doivent faire transiter des débits correspondant à une pluie centennale donnés dans des conditions satisfaisantes : curage, vitesse maximale pour limiter l'érosion.

Le débit maximal à pleine section (saturation) d'un ouvrage hydraulique est estimé par la relation de **MANNING STRICKLER :**

Le principe général consiste à vérifier que le débit à évacuer correspondant à une pluie centennale est inférieur au débit maximal supporté par de l'ouvrage choisi, tout au long de l'écoulement. Ce critère permet d'assurer que la voie reste en bon état lors d'un événement pluvieux centennale. D'autre part, le dimensionnement doit assurer que les vitesses soient inférieures à 4 m/s dans les ouvrages bétonnés.

$$Qs = K.S.Rh^{\frac{2}{3}}.I^{\frac{1}{2}}$$

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

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.

- **Vérification des conditions d'auto curages :**

L'auto curage c'est l'aptitude de conduite d'assainissement à transporter la particule solide, donc une bonne auto curage impose que la capacité de transport des particules solide soit suffisante pour éviter leur sédimentation et leur dépôt.

Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

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

VIII.6.2.1 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversal :

- **Dimensionnement des buses :**

Tenant compte le bassin versant N° 01 :

- PK 77+025 ;
- Surface = 6.62 km2,
- Débit Qa= 4.20 m3/s,
- Pente I = 0.5 %,
- Coefficient de rugosité Strickler Ks =70.

Soit une buse de Ø = 1500 mm.

Hr : la hauteur de remplissage., Hr = 0.5 Ø = 0.75m.

D'où Sm = 0.88 m^2. Pm = 2.355 m.

Rh = Sm/Pm = 0.88/2.355 = 0.374 m.

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

Qps = $70*0.88*(0.374)^{2/3}*(0.005)^{1/2}$ = 2.25 m^3/s.

Soit 2 buses Ø = 1500 mm donc : Qps = **4.50 m^3/s > Q_{100max} = 4.20 m^3/s.**

2- Vérification les conditions d'auto curage :

1 ère condition :

Pour Q100/Qps= Rq=0.1 il faut $V_{écoulement}$> 0.6 m/s.

Rq = 0.1 ➔ Rv = 0.638 = V/V_{PS} ➔ V = Rv × Vps = 0.638 × 2.55 = 1.63 m/s.

V = 1.63 m/s > 0.6 m/s ➔ la condition est vérifiée.

2 éme condition :

Pour Q100 /Qps= Rq=0.01 il faut $V_{écoulement}$> 0.3 m/s

Rq = 0.01 ➔ Rv = 0.315 = V/V_{PS} ➔ V = Rv × Vps = 0.315 × 2.55 = 0.8 m/s.

V = 0.8 m/s > 0.3 m/s ➔ la condition est vérifiée.

Tableau VIII-9 Vérification hydraulique des ouvrages transversaux

Exutoire au PK	Ouvrage	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	I (m/m)	Q projet (100) m3 /s	Qsat m3 /s	V écoul dalot (m/s)	Si Q=0.1Qp alors V > 0.6m/s	Si Q=0.01Qps alors V > 0.3 m/s
77+025	2Buse Ø1500	0.88	2.35	0.374	0.005	4.20	4.50	2.38	1.63	0.8
77+700	Buse Ø1500	0.88	2.35	0.374	0.005	1.38	2.25	1.57	1.63	0.8
78+050	Buse Ø1500	0.88	2.35	0.374	0.005	1.54	2.25	1.75	1.63	0.8
83+900	2Buse Ø1500	0.88	2.35	0.374	0.005	2.48	4.50	2.81	1.63	0.8
86+500	2Buse Ø1500	0.88	2.35	0.374	0.005	2.90	4.50	3.29	1.63	0.8

NB : les conditions d'auto curages sont vérifiées.

- **Remarque :** En raison de l'ensablement et la vitesse des vents on propose de remplacer les buses par des dalot de (2×2).
- Et pour confirmation ; Vérification que débit de dalot (2×2) est supérieur au débit des basins versant. Avec :

Hr= 0.8h = 0.8 × 2 = 1.6m.

Rh = $\frac{Sm}{Pm} = \frac{0.8\times2\times2}{0.8\times2\times2+2} = \frac{3.2}{5.2}$ = 0.62m.

$Qps = Ks.\ S.\ Rh^{2/3}.\ I^{1/2}$ = 70 ×3.2 ×$(0.62)^{2/3}$ ×$(0.005)^{1/2}$ = **11.5 m^3/s > Q_{100max} = 4.2 m^3/s.**

- **Les conditions d'auto curage sont vérifiés ;**

1 ère condition :

Pour Q100/Qps= Rq=0.1 il faut $V_{écoulement}$> 0.6 m/s.

Rq = 0.1 ➔ Rv = 0.638 = V/V_{PS} ➔ V = Rv × Vps = 0.638 × 3.59 = 2.29 m/s.

V = 2.29 m/s > 0.6 m/s ➔ la condition est vérifiée.

2 éme condition :

Pour Q100 /Qps= Rq=0.01 il faut $V_{écoulement}$> 0.3 m/s

Rq = 0.01 ➔ Rv = 0.315 = V/V_{PS} ➔ V = Rv × Vps = 0.315 × 3.59 = 1.13 m/s.

V = 1.13 m/s > 0.3 m/s ➔ la condition est vérifiée.

D'où pour les cinq bassins versant on opte pour des dalots des dimension (2×2).

VIII.6.3 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

VIII.6.3.1 Introduction :

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.

VIII.6.3.2 Dimensionnement des fossés :

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

$$Qs = Ks.\ S.\ Rh^{2/3}.\ I^{1/2}$$

Où :

- La surface mouillée : Am = (b+z× h) ×h.
- Le périmètre mouillé : Pm = b+2h. $\sqrt{1+z^2}$.
- Le rayon hydraulique : Rh=Sm/Pm. Avec : z = 1/ tanα la pente des berges.
- 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.

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

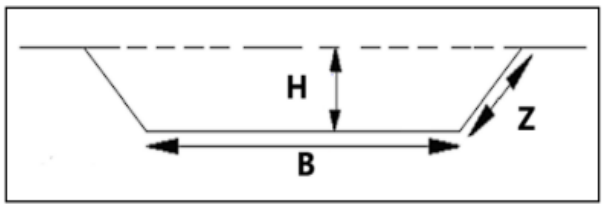


Figure VIII-5 fossé trapézoïdale.

Calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante, chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$Qa = \frac{C.I.A}{3.6}$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).

- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie (mm/h).
- A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km^2).

VIII.6.3.2.1 Application de notre projet :

Le choix de type de fossé est en fonction débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : Qa= Qpf + Qb + Qt.

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

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de

10 ans.

Tableau VIII-10 débit apport cas déblai.

		CAS REMBLAI	CAS DEBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur= 650m Htalus= 9.70m Largeur de la plateforme= 6.8 m	Le cas plus défavorable : Longueur=475m Htalus=3.25m Largeur de la plateforme= 6.8 m
Plateforme	Cr	0.9	0.9
	P (m/m)	0.04	0.04
	A (Km2)	0.00442	0.00323
	Tc (h)	0.0422	0.036
	I (mm/h)	302	346
	Qpf (m^3 /s)	0.334	0.279
Talus	Cr	0.7	0.7
	P (m/m)	1/3	1/3
	A (Km^2)	0.02	0.00488
	Tc (h)	0.0313	0.0154
	I (mm/h)	390	718
	Qpf (m3 /s)	1.517	0.682
Qa (m^3/s) (totale)		Qpf+QT= 1.851	Qpf+QT= 0.961

Remarque : Notre plateforme est disposée sous forme de chapeau chinois avec une largeur à gauche de 6.8m et 1.2m à droite. Donc nous devons faire le dimensionnement de fossé gauche puisque représente le cas plus défavorable.

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

Tableau VIII-11 dimensionnement du fossé proposé

B	H	z	S_m(m2)	P_m(m)	R_h	K_s	I(m/m)	Qs(m3/s)
0.5	0.5	1	0.5	1.91	0.262	70	0.02	2.02

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

$$Qa < Qs.$$

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 et en pleine voie.

VIII.7 Conclusion :

Il est essentiel et obligatoire de réaliser une étude hydrologique et hydraulique approfondie dans le cadre d'un projet linéaire comme la construction d'une ligne ferroviaire. Cette étude permet d'assurer la durabilité de la voie ferroviaire.

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 :

- 5 dalots de (2×2).
- Fossé de forme trapézoïdal (b=0.5 m, h=0.5 m) en béton armé dans le tronçon de la gare et le long de la voie.

CHAPITRE IX : ASSISE FERROVIAIRE

IX. Assise ferroviaire

IX.1 Introduction :

L'infrastructure de la voie ferrée est la partie sur laquelle repose cette voie. Elles comprennent la couche de ballast, la couche sous-ballast, couche de fondation et parfois couche de forme.

Les principaux rôles des couches d'assise :

- Répartir sur la plateforme les charges exercées par les traverses.
- Amortir les vibrations de la superstructure.
- Assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage.

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 conditions climatiques du site,
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses),
- De l'armement (profil des rails nature et espacement des traverses).

IX.2 Les couches d'assises :

IX.2.1 Le ballast :

C'est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. Il résiste à la plupart des efforts exercés sur la voie. Le ballast est un granulat (d /D = 31.5/50 mm) provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granite, diorite, rhyolite, porphyre, quartzite...). Sa couche doit être compactée, lors de la mise en place de la voie, afin d'améliorer sa stabilité. L'épaisseur minimale de cette couche pour les lignes à grandes vitesses est de 30 cm.

IX.2.1.1 Rôle de la couche de ballast :

- Une répartition uniforme des charges sur une plus grande surface de la plateforme,
- De maintenir le nivellement et le dressage de la voie
- Assure, en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux.
- Constitue un amortisseur de vibrations (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments de ballast).

IX.2.1.2 Caractéristiques physico-mécaniques du ballast :

IX.2.1.2.1 Caractéristiques physiques :

- **Granulométrie :** on utilise en Algérie actuellement la classe 31.5/50 mm (selon SNTF).
- **Forme de granulats (Angularité et rugosité) :** Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse et assurer par le frottement Ballast/traverse le bon maintien en place de ces derniers.
- **Homogénéité des granulats :** Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.

- **Propreté des granulats :** le ballast doit être exempt des éléments fins et débris.
- **Perméabilité :** Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie
- **Densité :** Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

IX.2.1.2.2 Caractéristiques mécaniques :

- 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.

IX.2.2 La sous –couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche.

Elle comprend du haut vers le bas, une couche sous ballast en grave propre bien gradué (0/31.5) puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sol et enfin, s'il y a lieu une couche anti contaminatrice complété par des feuilles de géotextile de séparation.

Elle nous permet d'ailleurs :

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'Anticontamination entre plate -forme et ballast (protéger le ballast d'une éventuelle remontée de fines, et protéger la plate-forme du poinçonnement causé par le ballast).
- La Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- L'évacuation des eaux (améliorer le drainage)

La sous-couche peut être mono ou multicouche elle peut comprendre une couche de sous ballast (qui doit être toujours présente) puis une couche de fondation, et enfin s'il y a lieu, une couche anti contaminant en sable complétée par une feuille géotextile.

IX.3 La plateforme (couche de forme) :

IX.3.1 Définition :

La plate-forme de la voie constitue l'élément support de la superstructure de la voie ferrée.

La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

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

IX.3.2 Classe de qualité du sol composant la plateforme :

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

- La nature géotechnique du sol (à partir de l'identification géotechnique) :

- La granularité et de contenu organique, Dans le cas des sols meubles.
- La dureté et l'altérabilité, Dans le cas des sols rocheux.

- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, ces conditions, sont considérées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol est hors de toute nappe naturelle.
  - La plateforme n'est pas le siège de percolation naturelle nocive, transversale, longitudinale ou verticale.
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux ou transversaux d'assainissement sont en bon fonctionnement.

Si l'une de ces conditions n'est pas remplie, le sol sera réputé mauvais. On distingue alors les paramètres ci-avant, les classes de qualité de sols, notées Qsi ci-après :

- QS0 : Sols "impropres"
- QS1 : Sols médiocres
- QS2 : Sols moyens.
- QS3 : Bons sols.

IX.3.3 Classe de portance de la plateforme :

La portance d'une plateforme dépend de :

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

En fonction de ces paramètres sont définis, selon le code UIC719R, trois types de plateforme (correspondantes à trois classes de capacité de support) :

- P1, plate-forme médiocre.
- P2, plate-forme moyenne.
- P3, plate-forme bonne.

Tableau IX-1 la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

IX.3.3.1 Plate- forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les

UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

IX.3.3.2 Couche de forme :

Afin de fournir une plate-forme de support de qualité P3 pour les matériaux QS2, une couche de forme a été utilisée. Cette couche de forme a une qualité de sol de QS3 et a été appliquée à une épaisseur de 35 cm. Autrement dit, pour répondre à l'exigence d'une plate-forme de support de qualité P3 pour les matériaux QS1, une couche de forme d'une épaisseur de 35 cm avec une qualité de sol QS3 a été mise en place.

IX.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

Le dimensionnement de cette épaisseur doit être effectué en utilisant l'expression fournie dans le code UIC 719R et en ajustant les paramètres en fonction des caractéristiques du tronçon étudié.

L'épaisseur de la couche d'assise « e » est donnée par la formule :

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

IX.5 Application à notre projet :

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R).

Tableau IX-2 Dimensionnement de la couche couches d'assise

Paramètre	En pleine voie	
Traverses L	2.24 m	
E	0.45	pour une plate-forme de classe de portance P3.
a	0.00	La vitesse de la ligne est 220 km/h supérieur à 160 km/h.
b	0.13	pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m.
c	0.00	pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne)
d	0.05	Pour une charge de 22 ,5 tonne/essieu
f	0.00	pour une plate-forme de classe de portance P3, et ligne à grande vitesse
g	0.00	pas de géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3
Epaisseur de e (m)	0.63 soit 0.65	

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

Tableau IX-3 structure de la voie

Couches	Epaisseur (cm)	Matériau
Ballast	30	GC (grave concassée) 31.5 /50 mm
Sous-ballast	35	GC (grave concassée) 0/31.5 mm
Couche de forme de type QS3	35	GNT

IX.6 Conclusion :

Le dimensionnement a permis de déterminer les épaisseurs nécessaires pour les différentes couches nécessaires pour supporter et répartir la charge, tout en respectant les normes en vigueur de l'UIC en Algérie.

CHAPITRE X : PROFILE EN TRAVERS

X. IX. Profile en Travers

X.1 Introduction :

Les travaux de terrassement englobent toutes les opérations requises pour assurer la mise en place des profils transversaux d'un projet. La réalisation du profil en travers est une étape cruciale de ce processus, car elle permet de définir la section transversale prévue pour la voie ainsi que les quantités de terre à déplacer pour les déblais et les remblais.

X.2 Profile en travers :

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, les systèmes éventuels de protection de la voie (ensablement et éboulements) 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 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.2.1 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 IX-1).

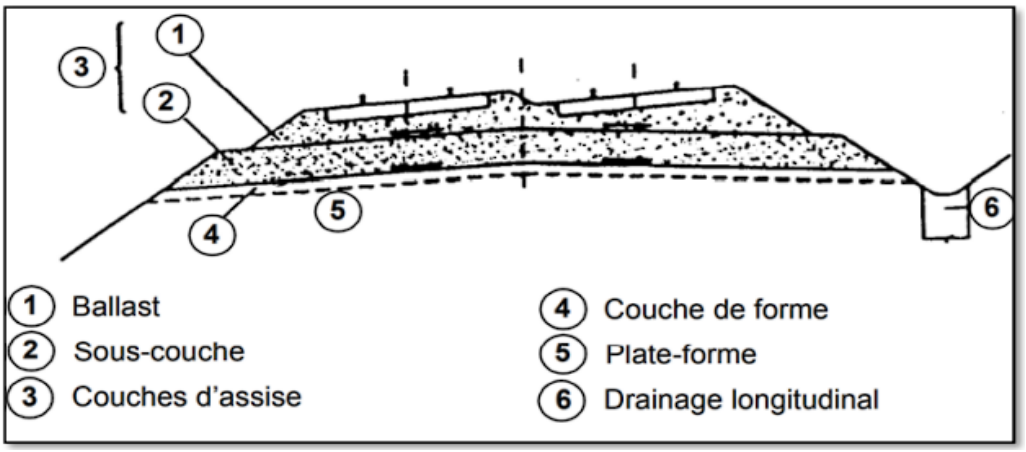


Figure X-1 profil en travers types (double voie).

X.2.2 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.3 Les éléments du profil en travers :

Le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants :

Eléments de superstructure :

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie,
- Le type de travers utilisé,
- L'épaisseur de la couche de ballast,
- La longueur des butées du ballast,
- La valeur du dévers maximum en courbe,
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.

Eléments de l'infrastructure :

- La dénomination et les épaisseurs de chaque couche,
- Les pentes transversales de chaque couche,
- La pente latérale de la plateforme.

Eléments du talus :

- La pente de chaque talus,
- Les ouvrages de consolidation éventuels.

Eléments d'assainissement :

- Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des draines.

X.4 Profile en travers type de notre projet :

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

Le profil en travers type en pleine voie, correspondant à un profil pour voie unique, présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai.

Le profil en travers présente une forme asymétrique, avec une largeur gauche de 4,70 m et une largeur droite de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie.

La superstructure est formée par des rails UIC-60 espacé de 1435 mm et des traverses monobloc, sur ballast dont l'épaisseur minimal est de 0,30 m.

La plateforme et couche de forme et sous-ballast de la voie sont formées en chapeau de chinois décentre pour le côté droit (déjà préparée pour la possibilité de duplication de la voie) avec des inclinaisons transversales de 4%.

Les épaisseurs des couches sous-ballast et de couche de forme sont définies dans le chapitre VIII : ASSISE FERROVIAIRE.

Dans les zones de déblais et remblai les talus ont été définis avec l'inclinaison de 1/3 (V/H), avec la construction de fosses longitudinaux au pied de talus.

en résumé le profile en travers type caractérisé comme suit :

X.4.1 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-ballast 35cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

X.4.2 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 : 35 cm.
- Distance axe de voie – bord de quai : 1,65 m

Remarque : en cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le Dévers exigé.

X.5 Calcul des cubatures :

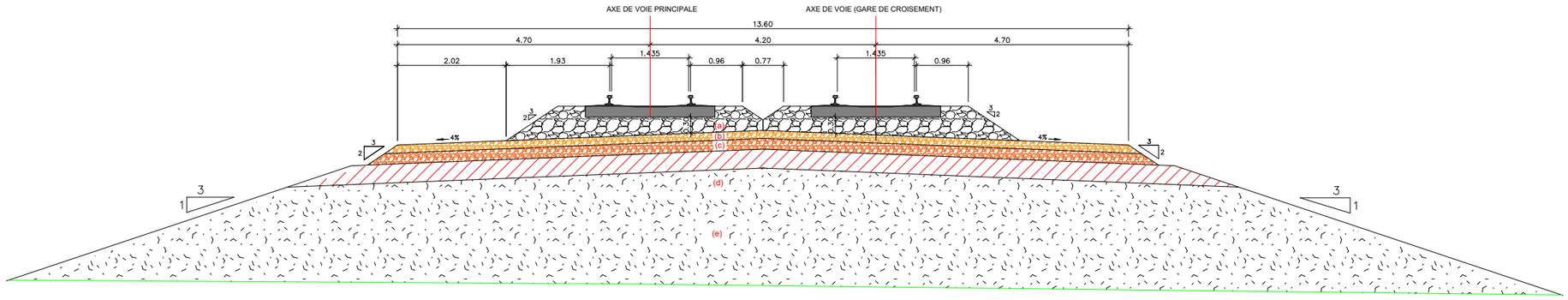
Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes des déblais et des remblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

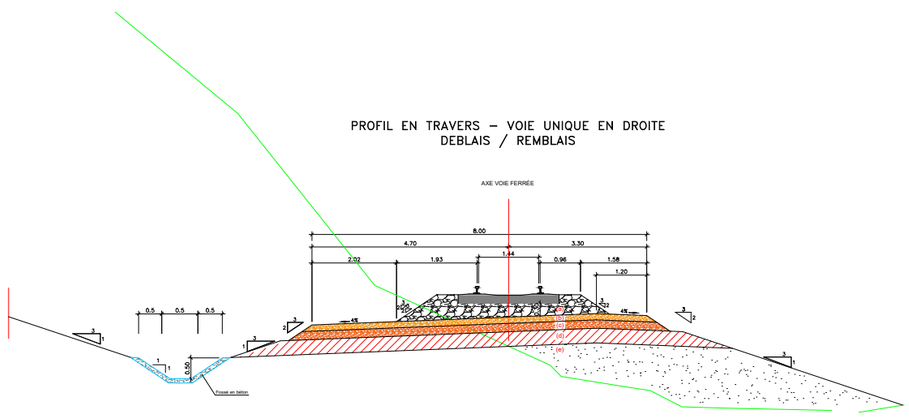
Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel COVADIS 16.0d, **les détails de calcul sont joints dans l'annexe de présent chapitre.**

PROFIL EN TRAVERS – GARE DE CROISEMENT
REMBLAIS



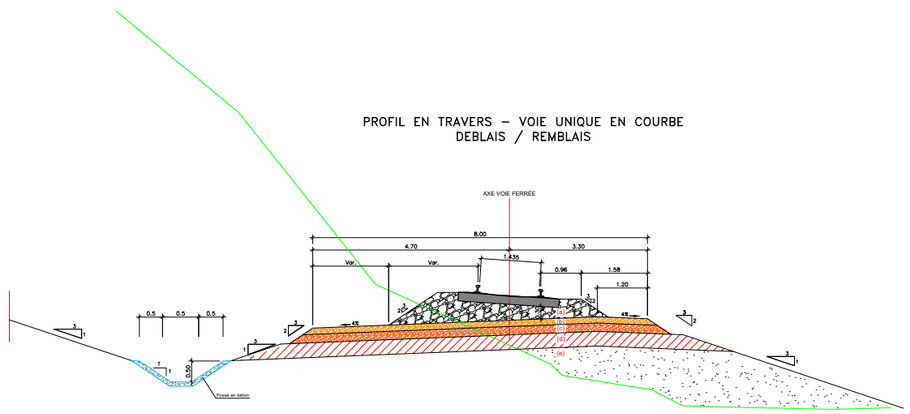
(a) Ballast (0.30m)
(b) Sous Ballast (0.15m)
(c) Sous Ballast (0.20m)
(d) Couche De Forme (0.35m) en materiaux QS3
(e) Partie supérieure des terrasements (PST) - remblais

PROFIL EN TRAVERS – VOIE UNIQUE EN DROITE
DEBLAIS / REMBLAIS



(a) Ballast (0.30m)
(b) Sous Ballast (0.15m)
(c) Sous Ballast (0.20m)
(d) Couche De Forme (0.35m) en materiaux QS3
(e) Partie supérieure des terrasements (PST) - remblais

PROFIL EN TRAVERS – VOIE UNIQUE EN COURBE
DEBLAIS / REMBLAIS



(a) Ballast (0.30m)
(b) Sous Ballast (0.15m)
(c) Sous Ballast (0.20m)
(d) Couche De Forme (0.35m) en materiaux QS3
(e) Partie supérieure des terrasements (PST) - remblais

ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
ETUDE APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TOUGGOURT- HASSI MESSAOUD SUR LE TRONÇON DU PK 76+000 AU PK 96+725 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE LA NOUVELLE VILLE DE HASSI MESSAOUD	-REDJEM -REMITA	DERRADJI AYACHI	1/100 1/100	3	2022/2023

CHAPITRE XI : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

XI. Terrassement et ouvrage

XI.1 Les terrassements :

Les terrassements impliquent des travaux visant à altérer le relief naturel d'un terrain pour créer une plate-forme ferroviaire. Cette transformation du sol est obtenue en effectuant des excavations pour retirer les matériaux en surplus (déblais) et en ajoutant des matériaux de remplacement (remblais), parfois à des hauteurs considérables.

- **Le remblai :** c'est rapporter des terres, afin de relever ce niveau.
- **Le déblai :** consiste à abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres.

Au-delà d'une certaine hauteur limite de déblais et de remblais, il y'a risque de rupture, se présentant généralement sous forme de glissement de talus.

Lorsqu'on construit une voie ferrée, un talus est une pente créée par des travaux de terrassement. Celle-ci est généralement inclinée et résulte de l'ajout ou de la suppression de matériaux sur le terrain.

XI.1.1 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 employés dans les analyses de stabilité des talus 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).

XI.1.1.1 Vérification de la stabilité des talus :

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, un seul remblai avec une hauteur de 9 m au PK 77+500 au PK 78+150 Pour des raisons de stabilité, mais aussi visant la création d'accès pour d'éventuels entretiens : des ris-bermes de 2 m de largeur ont été adoptées chaque 6m de hauteur pour la zone de remblai avec pente de 3H/1V.

XI.2 Les ouvrages :

Pour garantir la compatibilité technique et économique, ainsi que la possibilité de traverser différentes infrastructures existantes et des cours d'eau, il est nécessaire d'équiper la nouvelle ligne ferroviaire projetée des ouvrages suivants afin de concevoir un tracé amélioré :

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

XI.2.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage :

Dans tous les cas le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces conditions sont de deux sortes :

- **Données naturelles :**

Ecoulement des eaux nature du sol, etc…

- **Exigences techniques :**

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- l'obstacle franchi.
- Gabarit.
- Tirait d'eau.
- protection des structures existante.

XI.2.2 Croisement avec une route :

En général, les problèmes de croisement doivent prendre en considération la nature et le débit de chaque voie traversée afin d'analyser cas par cas tous les types de croisements en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur :** Si la vitesse des trains est importante ≥ 100 km/h et si la topographie ne le permet pas.
- **Passage à niveau :** pour les routes de faibles débits.
- **Passage inférieur :** c'est lorsque la topographie l'exige.

XI.3 Les ouvrages de notre projet :

Liste des ouvrages pour notre projet :

XI.3.1 Rétablissements routiers :

La future liaison entre Touggourt-Hassi Messaoud ne considère pas l'existence des passages à niveau et donc pour notre tracé on a obligé de construire trois passages supérieurs, pour permettre le rétablissement des pistes à supprimer et voies intersectées.

Tableau XI-1 Liste des ouvrages d'art pour notre projet

PK	Type	Solution
83+535	RN3	Passage supérieur
87+350	piste	Passage supérieur
95+637	piste	Passage supérieur

XI.3.1.1 Piste à supprimer :

On a trois pistes à supprimer au PK 86+950, PK 87+325, PK 94+350.

XI.3.2 Franchissement d'écoulement d'eau :

Tableau XI-2 : liste des dalots

PK	Type d'ouvrage	Caractéristique
77+025	dalot	2*2 m
77+700	dalot	2*2 m
78+050	dalot	2*2 m
83+900	dalot	2*2 m
86+500	dalot	2*2 m

XI.3.3 Protections des conduites de gaz :

Un gazoduc est une canalisation destinée au transport de matières gazeuses sous pression.

Le gazoduc traverse l'axe principal Au Pk 87+400, PK 87+575, PK 87+725, PK 87+800 et au PK 93+465.

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.

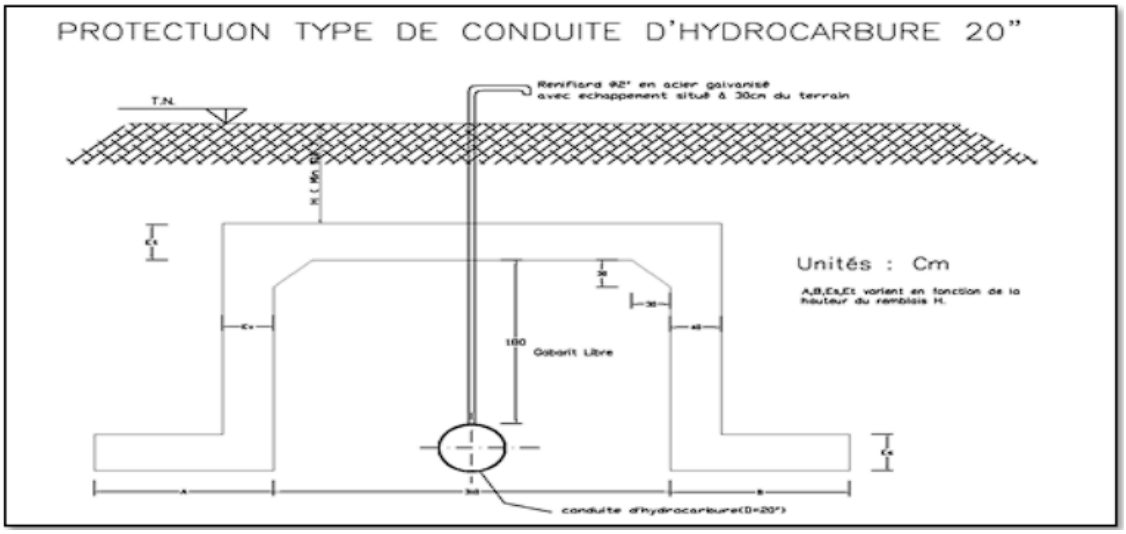


Figure XI-1 Exemple d'un ouvrage de protection.

CHAPITRE XII : CONCEPTION DE LA GARE NOUVELLE VILLE HASSI-MESSAOUD

XII. Conception et aménagement de la gare

XII.1 Introduction :

Chaque projet de transport ferroviaire nécessite la mise en place d'une gare adaptée. La gare est l'endroit où les trains s'arrêtent et elle englobe différentes installations qui remplissent 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.

XII.2 Type de gare :

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageur.
- Halte.
- Gare marchandise.
- Gare mixte.
- Gare de croisement.

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 notre projet de fin d'étude sur le tronçon de PK76+000 au PK 96+725. On réalise l'aménagement de la gare de Voyageurs nouvelle ville Hassi-Messaoud.

XII.3 Etude du plan de masse d'une gare :

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

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

XII.4 Installations d'une gare à voyageur :

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.5 Marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation de train n'est autorisée. Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même, en cas d'interdiction d'occupation d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

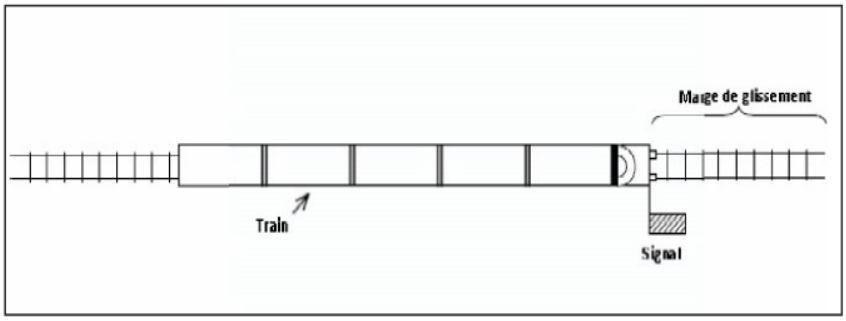


Figure XII-1 Schématisation de la marge de glissement

- **Longueurs de la marge de glissement :**

$50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

$LG = 200m$ pour $V \geq 60$ km/h.

$LG = 100m$ pour $40km/h \leq V \leq 60$ km/h.

$LG = 50$ m pour $V < 40$ km/h.

XII.6 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).

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

$$GF = 3.57 \times N + 1$$

Avec : **N = 1/tan(α)** qui dépend type de l'appareil de voie.

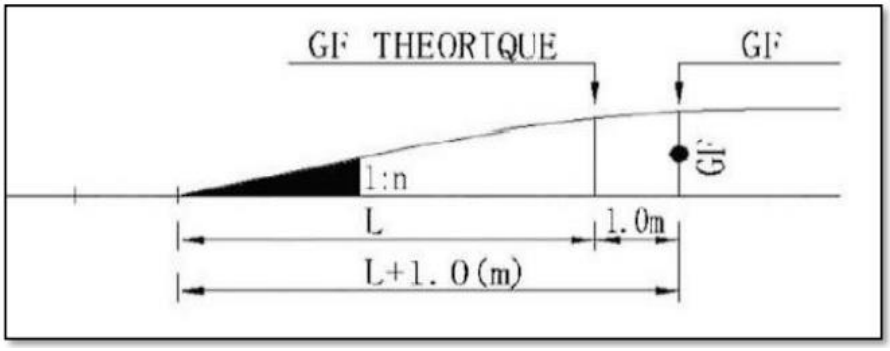


Figure XII-2 garage franc.

XII.7 La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

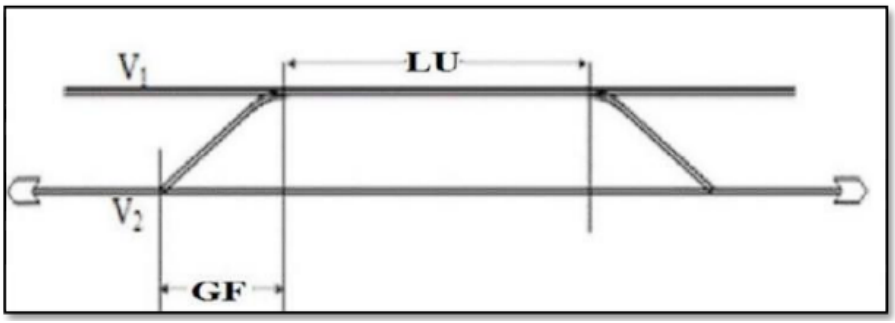


Figure XII-3 longueur utile.

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

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie
- principale.

XII.8 Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.

XII.9 Les Quais :

XII.9.1 La longueur de quai (normes SNTF) :

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m.

XII.9.2 La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare.

- Quai intermédiaire B > 8 m.
- Quai extérieur B ≥ 6m.

XII.9.3 Hauteur des quais :

Selon la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 550mm.
- La hauteur du quai dépend du type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

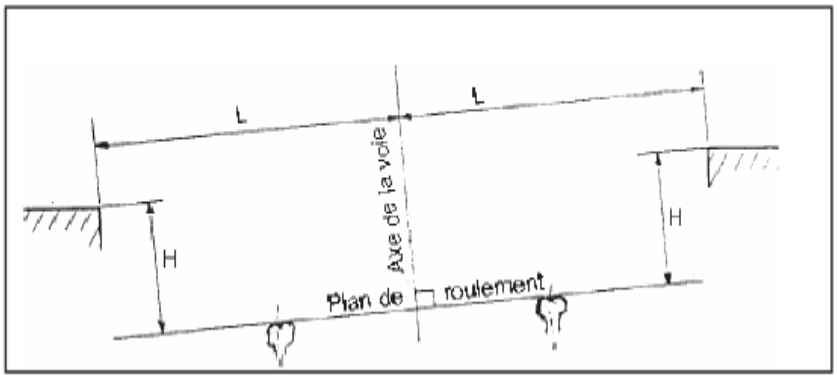


Figure XII-4 la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie (source UIC741 OR)

Avec :

- H = Hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement.
- L = Distance par rapport à l'axe de la voie, parallèle au plan de roulement.

XII.9.4 **La distance à l'axe de la voie :** (Selon la norme UIC 741).

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

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

R : étant le rayon de la voie en (m). I : étant l'écartement de la voie en (mm).

XII.9.5 L'entre axe des quais :

- e normal > 11.3 m
- e minimal > 9.3 m.

XII.10 CONCEPTION DE LA GARE DE PROJET :

La nouvelle gare située au côté de la nouvelle ville Hassi-Messaoud et à la fin de notre projet, entre pk 95+125 et Pk 96+725 avec une longueur de 1600 mètres, le futur bâtiment de voyageurs étant situé au Pk 95+925. Du côté de la RN3.

La nouvelle gare Hassi-Messaoud nouvelle ville proposé par nous est une gare voyageurs composée de trois voies. Pour V1 est une voie principale, V2 et V3 destinée au stationnement des trains voyageurs.

XII.10.1 Application au projet :

- **Quais voyageurs :**

- **Quai A :** a une longueur de 350 m et une largeur de 6 mètres, localisé entre le bâtiment voyageur et la voie V1.
- **Quai B :** a une longueur de 350 m et une largeur de 8 mètres.
- **La distance à l'axe de la voie :** L (mm)=1650+ (3750/∞) + ((1435-1435) /2) =1650mm.
- **Entre–axe des quais :** Pour notre projet entraxe entre les deux quais A et B est e_{AB} = 14.5 m.
- **La hauteur des quais** : la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de 550m.

- **Entraxe entre les voies :**

Entraxe entre les voies est de 4.2 m (entraxe minimal selon SNTF (aménagement et gare tracé des voies).

- **La longueur utile d'une voie de stationnement :**

Selon la SNTF pour les voies de gare voyageurs : la longueur minimale est 1200 m

- Voie V1 est de 1200m (voie principale).
- Voie V2 et V3 : Lu= 800m.

- **Appareils de la voie et leurs implantations :**

Pour le projet pour la gare on a recours à des appareils de voie de types :

- UIC-60 500-1/12 avec une vitesse de 65 km/h.
- UIC-60 300-1/9 avec une vitesse de 50 km/h.

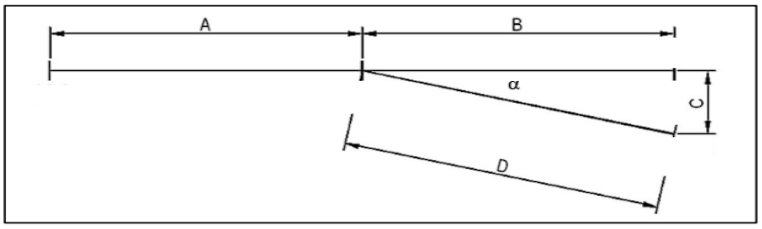


Figure XII-5 Schéma de l'appareil de voie.

Tableau XII-1 les caractéristiques d'appareils de voie

Type	A(m)	B(m)	C(m)	D(m)	tan α	V (km/h)
UIC 60 500 1/12	20.797	20.797	1.729	20.797	0.083	65
UIC 60 300 1/9	16.616	16.616	1.989	16.616	0.111	50

Tableau XII-2 implantation des ADV

ADV	Points	X	Y	Déviation
(1) UIC 60 500 1/12	**a**	**765958.4325**	**3585013.5197**	**Gauche**
	b	**765963.2321**	**3584993.2830**	
	c	**765968.1252**	**2584972.6524**	
	d	**765970.4449**	**3584973.2116**	
(2) UIC 60 300 1/9	**a**	**765975.7238**	**3584940.5395**	**Droite**
	b	**765979.5183**	**3584924.3621**	
	c	**765983.3116**	**3584908.1859**	
	d	**765981.9528**	**3584907.8338**	
(3) UIC 60 300 1/9	**a**	**765985.6024**	**3584849.8174**	**Droite**
	b	**765981.8070**	**3584866.0028**	
	c	**765978.0153**	**3584882.1697**	
	d	**765979.3736**	**3584882.5230**	
(4) UIC 60 300 1/9	**a**	**766154.0727**	**3584206.0035**	**Droite**
	b	**766157.8664**	**3584189.8266**	
	c	**766161.6601**	**358417.6507**	
	d	**766160.3010**	**3584173.2983**	
(5) UIC 60 300 1/9	**a**	**766167.3356**	**3584131.8237**	**Droite**
	b	**766163.5415**	**3584148.0018**	
	c	**766159.7480**	**3584164.1758**	
	d	**766161.1071**	**3584164.5276**	
(6) UIC 60 300 1/9	**a**	**766157.1330**	**3584125.8595**	**Gauche**
	b	**766160.9662**	**3584109.9616**	
	c	**766164.8011**	**3584093.5237**	
	d	**766166.1342**	**3584093.8167**	
(7) UIC 60 500 1/12	**a**	**766188.9825**	**3584040.4594**	**Gauche**
	b	**766184.1828**	**3584060.4594**	
	c	**766179.2909**	**3584081.3260**	
	d	**766176.9705**	**3584080.7671**	

- **Longueurs de la marge de glissement :**

- Comme V ≥ 60 km/h alors LG = 200m.

- **Longueur de garage de franc :**

- Pour UIC 60 E1-500-1/12 : GF = 3.57*12 + 1 = 43.84 m.
- Pour UIC 60 E1-300-1/9 : GF = 3.57*9 + 1 = 33.13 m.

XII.10.2 Gare de Croisement :

Ce tronçon contient une gare de croisement entre PK 77+700 et PK 78+900 pour permettre le passage de trains. Afin de réaliser cette gare de croisement, il est nécessaire d'installé deux appareils voie (GC1-01 et GC1-02) dans la ligne principale, aux dimensions géométriques est UIC60-500 - 1 :12 (béton).

La longueur utile de la ligne de croisement est de 1200 m. l'entraxe est maintenu à 4,20 m pour faciliter le dédoublement de la voie dans le futur et des traverses monobloc de béton dans la voie de déviation (service).

XII.10.3 Assainissement dans les gares :

XII.10.3.1 Assainissement transversale :

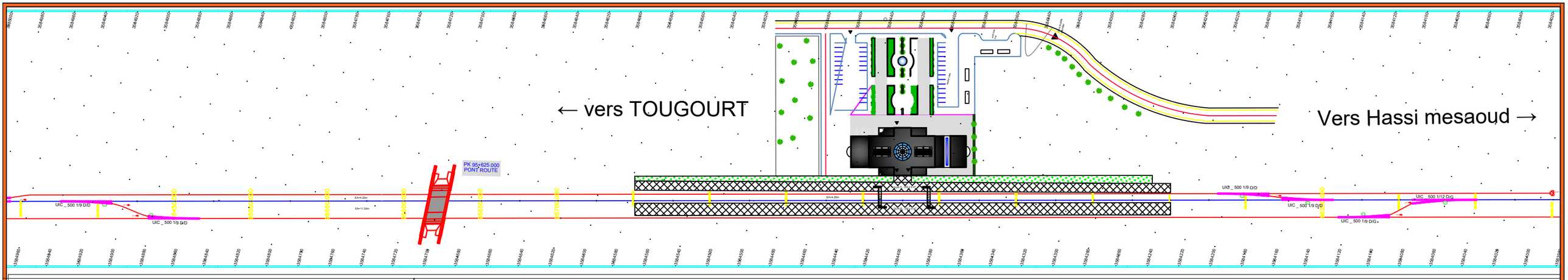
- pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2%, de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plateformes 4 %.

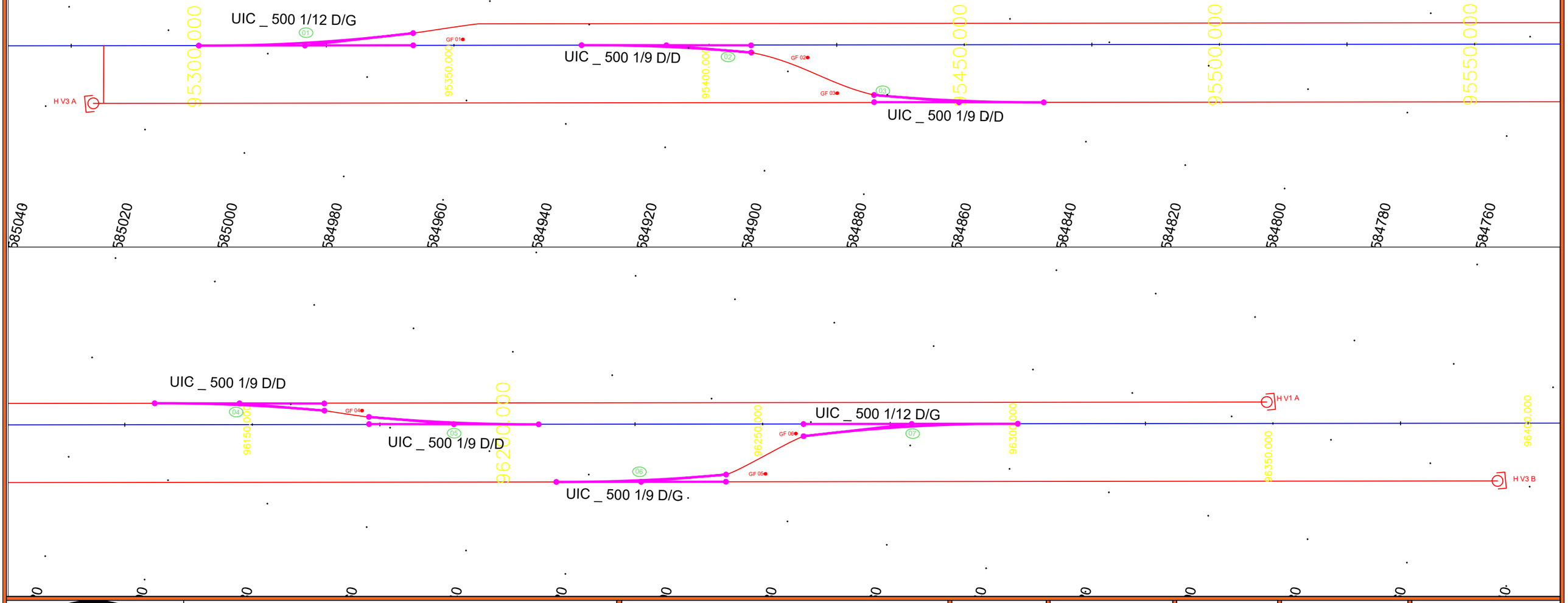
XII.10.3.2 Assainissement longitudinal :

- les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 2°/oo permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plateforme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.
- des fossés bétonnés avec (b= 0.5m et h= 0.5m).

XII.11 Conclusion :

L'aménagement de la Gare de la nouvelle ville Hassi-Messaoud 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.





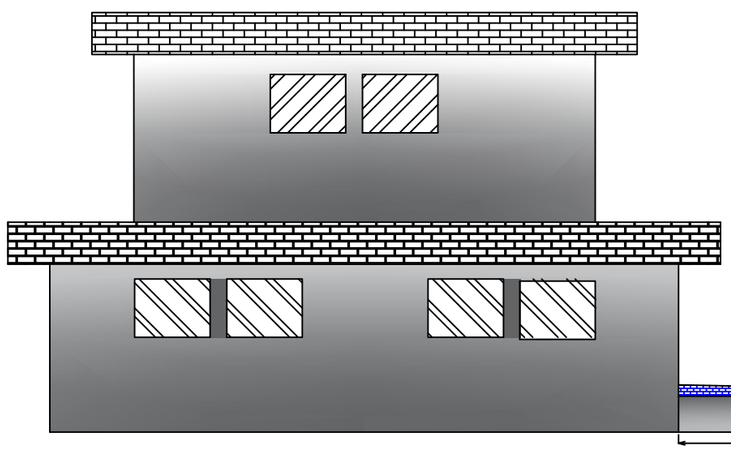
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

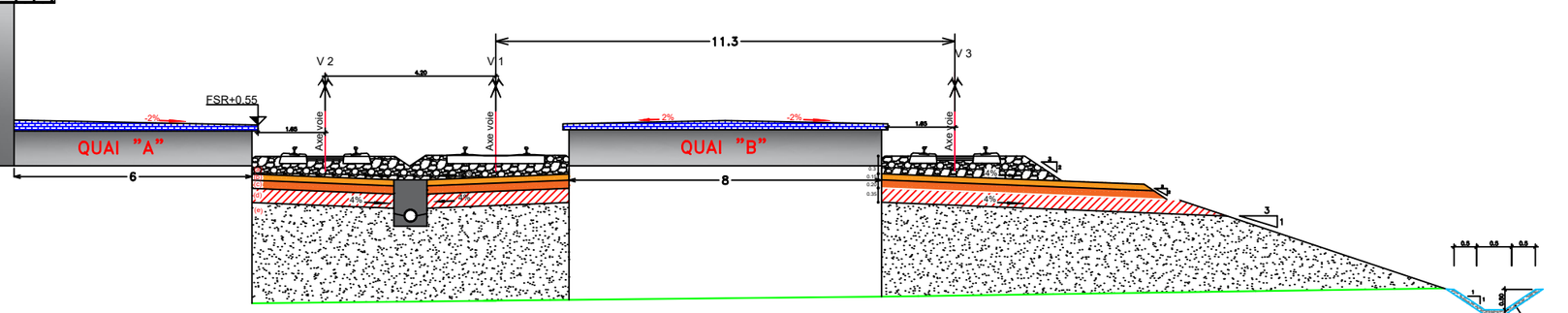
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web** : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
ETUDE APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TOUGGOURT- HASSI MESSAOUD SUR LE TRONÇON DU PK 76+000 AU PK 96+725 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE LA NOUVELLE VILLE DE HASSI MESSAOUD	-REDJEM -REMITA	DERRADJI AYACHI	1/3500 1/2000	5	2022/2023

Gare voyageur de la nouvelle ville hassi mesaoud

Bâtiment voyageur





(a) Ballast (0.30m)
(b) Sous Ballast (0.15m)
(c) Sous Ballast (0.20m)
(d) Couche De Forme (0.35m) en materiaux QS3
(e) Partie supérieure des terrasements (PST) - remblais

ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 **Site web** : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
ETUDE APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TOUGGOURT- HASSI MESSAOUD SUR LE TRONÇON DU PK 76+000 AU PK 96+725 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE LA NOUVELLE VILLE DE HASSI MESSAOUD	-REDJEM -REMITA	DERRADJI AYACHI	1/150	4	2022 / 2023

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION et ELECTRIFICATION FERROVIAIRE

XIII. Signalisation ferroviaire

XIII.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire. Elle lui donne, sous forme de codes divers disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter …etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

XIII.2 Types de signalisation :

Il existe deux types de signalisation :

XIII.2.1 Signalisation mécanique :

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

XIII.2.2 Signalisation lumineuse :

Il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire

La signalisation lumineuse à notamment, sur la signalisation mécanique, les avantages d'une plus grande sureté de fonctionnement et d'une meilleure visibilité ce qui fait que les signaux mécaniques se font maintenant de plus en plus rares.

XIII.3 Emploi et rôle de la signalisation :

Les installations de signalisation jouent un rôle très important pour éviter certains problèmes, on site :

- Les risques de déraillement par excès de vitesse,
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez),
- Le franchissement dans les passages à niveau,
- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block),

XIII.4 Fonctions des signaux :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

Chacune de ces signalisations comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation de rappel ou d'exécution.

XIII.5 Implantation des signaux :

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 en fonction :

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

XIII.6 Cantonnement :

le cantonnement qui est en fait une organisation de circulation qui permet d'en garantir la sécurité grâce à un découpage scrupuleux et précis des voies. En fait, les voies sont comme fractionnées, et chaque tronçon de voie est ainsi balisé en entrée et en sortie par un système de signaux symbolisant son occupation ou sa libération.

Il s'agit en quelque sorte de bulles de sécurité qui séparent obligatoirement les trains ente eux. Chaque train doit donc observer ces signaux pour savoir s'il est autorisé à circuler sur le tronçon suivant ou si au contraire, il doit s'immobiliser.

Ces tronçons, appelés **canton**, pouvant s'étendre d'une dizaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres, sont donc des espaces de sécurité dans lesquels le train ne peut pénétrer que lorsque les signaux l'y autorisent. Ce mode de fonctionnement ; avertissement, ordre, interdiction, est la base de la signalétique ferroviaire.

Le canton est une portion de voie ferrée alimente par une énergie électrique qui est la base du système permettant l'espacement des trains, ce qui permet d'éviter les rattrapages.

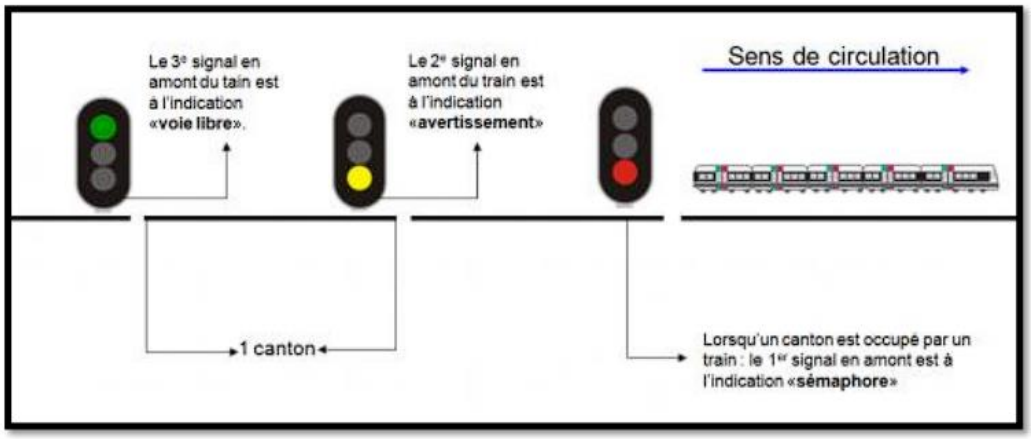


Figure XIII-1 schéma illustratif de canton

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés **"blocks"**, et selon la Catégorie de ligne on utilisera l'un des trois types de blocks ci-dessous :

- **Le block manuel (B.M.) :** est utilisé sur des lignes peu fréquentées, L'entrée sur une voie en BM est réglementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R.) :** est utilisé sur les lignes à moyenne fréquentation. C'est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.
- **Le block automatique lumineux (B.A.L.) :** est utilisé sur les lignes principales. Ce système est automatique et permet un débit maximal sur une ligne, d'autre part il autorise également un espacement réduit des circulations puisque le franchissement des signaux d'espacements fermés en marche à vue est autorisé.

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

XIII.7 Système de signalisation ERTMS :

Européen Railways Traffic Management System signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire. C'est un ensemble d'équipements et de fonctionnalités visant à l'harmonisation de la signalisation ferroviaire et à l'exploitation, en toute sécurité, d'une ligne ferroviaire en empêchant les collisions et déraillements suite à une erreur humaine telle que la non observation d'un signal ou le non-respect d'une limitation de vitesse.

- **Fonctionnement d'ERTMS :**

Le système ERTMS utilise des balises au sol qui interagissent avec un système embarqué à bord des trains. Contrairement à l'ancienne version, l'ERTMS permet une transmission continue de la position et de la vitesse du train via une antenne, à tout moment.

Grâce à ce système, les informations concernant l'accélération, le ralentissement et l'arrêt sont communiquées en continu et directement au conducteur de train, qui peut ajuster sa conduite en conséquence. Cela permet de rouler à des vitesses plus élevées et de rapprocher les trains les uns des autres, ce qui permet de faire passer davantage de trains par heure et d'assurer une reprise plus fluide du trafic.

XIII.8 Application sur notre projet :

La ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud est une nouvelle ligne à grande vitesse V=220 km/h, Les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

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

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.

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.

CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV. Impact sur l'environnement

XIV.1 Introduction :

Une étude d'impact sur l'environnement (EIE) dans le cadre d'un projet de voie ferrée est une évaluation systématique des conséquences potentielles de la construction et de l'exploitation de cette infrastructure sur l'environnement naturel, social et économique. Elle vise à identifier, prédire et évaluer les impacts positifs et négatifs du projet afin d'informer les décideurs et les parties prenantes.

L'EIE examine différents aspects du projet de voie ferrée, tels que la construction des infrastructures, l'utilisation des terres, l'impact sur la biodiversité, la qualité de l'air, la qualité de l'eau, le bruit, les vibrations, les impacts sociaux, les impacts économiques, etc. L'objectif principal est d'anticiper les effets du projet sur l'environnement et de proposer des mesures d'atténuation pour minimiser les impacts négatifs.

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

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

- Rechercher la meilleure intégration du chemin de fer dans l'environnement,
- Ne pas dégrader l'environnement, ou au moins minimiser l'impact,
- De mettre en valeur et d'améliorer les impacts positifs du projet sur l'environnement.
- Gérer et entretenir les abords du chemin de fer.

XIV.3 Analyse De L'état initial :

XIV.3.1 Milieu physique :

XIV.3.1.1 Situation de la zone d'étude :

La zone d'étude se situe entre la commune de Hassi-Messaoud et celle de Touggourt de la wilaya de Ouargla exactement à 86 km au sud-est de la ville de Ouargla, chef-lieu de wilaya est située à environ de 790 km au sud-est de la capitale d'Alger.

XIV.3.1.2 Climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat désertique et très sec, Les températures qui le caractérisent sont très élevées (souvent plus de 40° en été). La moyenne des précipitations annuelles ne dépasse pas 100 mm. Et des vents de dominance.

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 Qualité de l'air :

La qualité de l'air est généralement acceptable pour la majorité des personnes. Néanmoins, les individus sensibles peuvent éprouver des symptômes légers à modérés s'ils sont exposés au soleil pendant de longues périodes.

XIV.3.2 Habitats et biodiversité :

XIV.3.2.1 Végétation Et Flore :

La végétation de Ouargla est adaptée aux conditions arides du désert, avec un tapis végétal discontinu et clairsemé. On y trouve des arbustes épineux comme l'acacia, le tamaris et le jujubier, ainsi que des palmiers dattiers dans les oasis. Les plantes succulentes telles que les cactus et les aloès sont également présentes. Les herbes et les graminées poussent brièvement après les pluies. La région possède également des richesses forestières, bien que les arbres soient rares et dispersés.

XIV.3.2.2 La Faune :

La faune de Ouargla, est adaptée aux conditions désertiques de la région composée pour essentiel de dromadaire (baâir). On y trouve des lézards, des serpents, ainsi que des renards du désert. On peut également observer des oiseaux migrateurs tels que des faucons, des aigles, des hiboux et des perdrix. La conservation de la faune est importante pour préserver ces espèces et leurs habitats dans la région.

XIV.3.3 Milieu humain :

XIV.3.3.1 Population :

Selon les informations disponibles jusqu'en septembre 2021, la population de la wilaya de Ouargla en Algérie était d'environ 642 000 habitants.

XIV.3.3.2 Agriculture :

L'agriculture à Ouargla, en Algérie, est basée sur l'irrigation en raison de son climat désertique. Les cultures principales sont les palmiers dattiers, les agrumes, les oliviers, les figuiers et les cultures maraîchères. Les palmiers dattiers sont particulièrement importants pour la production de dattes, ce qui contribue à la renommée de la région.

L'agriculture à Ouargla est importante sur le plan économique, en fournissant des emplois, en soutenant les activités commerciales locales et en contribuant à la sécurité alimentaire.

XIV.3.3.3 Profil socio-économique :

En raison de la présence de la RN°3 qui agit à titre d'axe interrégional, ce qui fait que Ouargla est l'une des portes principales de liaison entre le nord et le grand sud du pays. Cette situation fait de Ouargla un lieu d'escales qui permet le développement des activités commerciales de la région.

XIV.4 Evaluation des impacts :

XIV.4.1 Les impacts négatifs :

XIV.4.1.1 Effets sur les ressources naturelles et sur les écosystèmes :

Les ressources naturelles concernées par les effets du tracé sont :

- Qualité de l'air
- L'eau
- La faune et la flore.

XIV.4.1.1.1 Qualité de l'air :

Les engins et camions émettront des gaz d'échappement, des poussières seront produites en raison des matériaux utilisés lors du nivellement de la zone (travaux du terrassement). De plus, les travaux de débroussaillage, d'excavation, de remblayage et la circulation des machines entraîneront une augmentation des odeurs. Il existe également un risque de dispersion accidentelle de produits chimiques sous forme gazeuse.

XIV.4.1.1.2 L'eau :

L'utilisation des engins pendant les travaux requiert l'utilisation de carburants, d'huiles et de graisses. En cas de déversement accidentel de ces substances, il existe un risque de contamination des eaux souterraines.

XIV.4.1.1.3 La faune et la flore :

- **Sur la flore :** Les interventions réalisées pendant la phase de construction entraînent principalement des altérations de la végétation. Cela comprend le débroussaillage des zones où le tracé ferroviaire sera établi, ainsi que l'empiétement sur les emprunts, les forêts, et autres. L'ampleur de ces altérations dépendra du type de végétation touchée et de la largeur occupée par l'infrastructure.
- **Sur la faune :** La mise en place d'un projet ferroviaire peut engendrer des conséquences néfastes pour la faune. Les habitats naturels sont souvent détruits ou fragmentés. De plus, les voies ferrées constituent des barrières physiques qui entravent les déplacements des espèces, réduisant ainsi leur accès à la nourriture, leur capacité de reproduction et leurs migrations, et aussi exposés au risque de collisions mortelles avec les trains.

XIV.4.1.2 Impacts sonores :

XIV.4.1.2.1 Le bruit :

Le transport ferroviaire engendre principalement des désagréments liés au bruit généré par le passage des trains. Ce bruit est produit par la friction de l'air et le contact métallique entre les roues et les rails. Il est de plus en plus perçu comme une source de perturbation, surtout dans les zones densément peuplées, particulièrement pendant la nuit. Néanmoins, l'impact sonore des chemins de fer varie d'une région à l'autre.

Dans notre projet, la population exposée au bruit du transport ferroviaire est très peu nombreuse. En effet, la portion de la ligne Touggourt-Hassi Messaoud qui nous concerne se situe en campagne et zone de pâturage très peu peuplé. Le seul point où il risque d'y avoir des problèmes se trouve uniquement au niveau de la gare nouvelle ville Hassi-Messaoud.

XIV.4.1.2.2 Les vibrations :

La circulation des trains sur une voie ferrée provoque également l'émission des vibrations transmisses 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.4.2 Impacts positifs :

L'ouverture d'une nouvelle ligne va engendrer l'émergence de nouvelles dynamiques qui exigent une coordination entre de nombreux acteurs et des mesures socio-économiques en faveur des entreprises, telles que l'aménagement urbain aux abords des nouvelles gares et l'amélioration des transports de proximité.

Le projet tendra d'atteindre les objectifs suivants :

- Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya.
- Désenclavement de la région sud-est du pays.
- Contribuer au développement socioéconomique de la région.
- Soulagement du réseau routier en réduisant une partie du trafic de marchandises.
- Des emplois seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et durablement après leur achèvement.

XIV.5 Les mesures prises pour minimiser les impacts :

XIV.5.1 Sur la qualité de l'air :

- **Impact :**

- L'émission de poussières et de particules de taille variable Lors des terrassements.
- Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins.

- **Mesures :**

- La limitation du nombre des moteurs thermiques en utilisant des moteurs électrique chaque fois que cela est possible. Cette mesure revêt toute son importance en espace confiné.
- Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières.
- Bâchage de camions ; Durant le transport de matériaux.
- Limiter la vitesse de circulation des engins à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière.

XIV.5.2 Impacts sur l'eau :

- **Impact :**

- Les eaux des oueds peuvent être altérées temporairement par les travaux (une contamination possible de l'eau suite à un diversement accidentel d'hydrocarbures).
- Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, cela risque de contaminer des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de diversement de ces dernier dans la nature.

- **Mesures :**

- Eviter le nettoyage des engins de chantier aux bords d'Oued,

- Eviter rejet des déchets (sanitaires, ou bien de la base vie) en phase de construction.

XIV.5.3 Impacts sur la flore :

- **Impact :**

- Terres végétale enlevée lors des travaux de terrassements.
- La circulation des engins le long du projet en construction

- **Mesures :**

- Eviter au maximum les zones riches en végétation.
- Il est important de restreindre les activités de déboisement aux zones désignées et de promouvoir la régénération végétale dans les zones touchées par le déboisement en dehors de ces zones désignées.

XIV.5.4 Impacts sur la faune :

- **Impact :**

- Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques.

- **Mesures :**

- 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.

XIV.5.5 Milieu sonore :

- Afin de répondre aux exigences concernant l'atténuation des nuisances sonores provenant de la voie ferrée, il est nécessaire de prendre des mesures appropriées. Dans cette optique, il est recommandé d'installer des écrans antibruit. Selon l'espace disponible, ces écrans peuvent être constitués d'un mur isolé, d'un mur associé à une butte ou simplement d'une butte. Les différentes mesures d'atténuation prévues sont énumérées par zone.

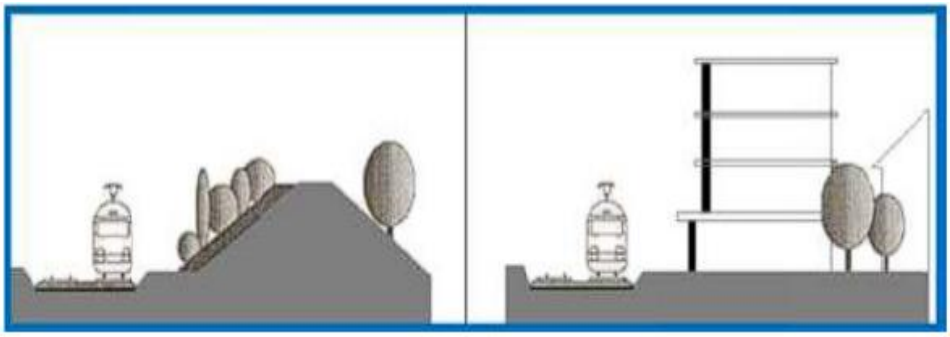


Figure XIV-1 Digue antibruit et élément de construction formant l'écran.

XIV.5.6 Réduction des vibrations dans la gare nouvelle ville Hassi-Messaoud :

Le problème des vibrations est surtout lié à la qualité du matériel roulant et aux rails. C'est pourquoi nous estimons que cet impact est assez réduit. Nous proposons tout de même de veiller à l'entretien des rails et du matériel roulant afin de maintenir cet impact le plus bas possible.

XIV.6 Conclusion :

Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire sur le plan socio-économique national et régional, comme il sera une source de soulagement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises, et des voyageurs qui vont utiliser cette ligne au futur.

Cependant, comme tout projet similaire, pendant sa construction et son exploitation il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement ce qui va entraîner des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain et sur le cadre de vie des riverains.

Pour garantir la mise en œuvre des différentes mesures prises pour intégrer le projet à l'environnement et assurer le respect de ces mesures, il est essentiel d'effectuer un suivi et une surveillance rigoureux des actions de préservation et de récupération.

CHAPITRE XV. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XV. Devis estimatif et quantitatif

Tableau XV-1 devis quantitatif estimatif.

N° DES PRIX	DESIGNATIONS	UNITE	PRIX UNITAIRE	QUANTITÉ	MONTANT
1 - INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION					
1-1	Installation générale de chantier	F	500 000 000,00	1,00	500 000 000,00
1-2	Etude d'exécution	F	90 000 000,00	1,00	90 000 000,00
TOTAL installation de chantier et étude d'exécution					**590 000 000,00**
2 - OUVRAGE D'ART					
2-1	Passage supérieur (pont route)	U	65 000 000,00	3,00	195 000 000,00
TOTAL des ouvrages d'art					**195 000 000,00**
3 - TERRASSEMENT GENEREAUX					
3-1	Décapage de terre végétale	M3	440,00	151 446,90	66 636 636,00
3-2	Déblais mise en remblai	M3	560,00	45 880,30	25 692 968,00
3-5	Remblais d'apport	M3	620,00	401 473,10	248 913 322,00
3-6	Mise en Remblais avec une couche de géotextile	M3	1 000,00	70 720,00	70 720 000,00
3-7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,35m épaisseur	M3	2 000,00	80 372,00	160 744 000,00
3-8	Sous ballast	M3	3 500,00	65 253,10	228 385 850,00
TOTAL TERRASSEMENT GENEREAUX					**801 092 776,00**
4 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
4-1	5 Dalots en béton armé 2×2	M3	55 000,00	391,90	21 554 500,00
4-2	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	6 800,00	5 050,00	34 340 000,00
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					**55 894 500,00**
5 - TRAVAUX DE VOIE					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	5 500,00	42 567,50	234 121 250,00
5-2	Fourniture des traverses bi-bloc VAX U 31	U	7 000,00	2 667,00	18 669 000,00
5-3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	125 000,00	2 839,00	354 875 000,00
5-4	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	470,00	78 388,00	36 842 360,00
5-5	Pose de la voie	ML	5 800,00	47 050,00	272 890 000,00
5-6	Fourniture des traverses monobloc en béton précontrainte	U	8 500,00	36 527,00	310 479 500,00
5-7	Fourniture d'un branchement simple UIC 60-500-1:12	U	13 500 000,00	4,00	54 000 000,00
5-8	Fourniture d'un branchement simple UIC 60-300-1:9	U	12 000 000,00	5,00	60 000 000,00
5-9	Heurtoir	U	475 000,00	3,00	1 425 000,00
TOTAL TRAVAUX DE VOIE					**1 343 302 110,00**
6 - BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	165 000 000,00	1,00	165 000 000,00

6-2	Quais	M3	3 080,00	22 650,00	69 762 000,00
TOTAL BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					**234 762 000,00**
7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
7-1	Signalisation et électrification				250 000 000.00
TOTALE DE LA SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					**250 000 000.00**

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	Ouvrage d'art	195 000 000,00
Lot N° 03	Terrassement généraux	801 092 776,00
Lot N° 04	Drainage et assainissement	55 894 500,00
Lot N° 05	Travaux de voie	1 343 302 110,00
Lot N° 06	Bâtiments gares et aménagement extérieur	234 762 000,00
Lot N° 07	Signalisation et électrification	250 000 000.00
Montant du projet HT		**3 470 051 386.00**
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		**4 129 361 149.00**

Montant total du projet en TTC :

Quatre milliards cent vingt-neuf millions trois cent soixante et un mille cent quarante-neuf centimes de Dinars.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERAL

Le développement des infrastructures de transports est la pierre angulaire de toute politique d'aménagement du territoire. En effet, ce dernier qui est par définition, la meilleure répartition dans un cadre géographique des activités économiques en fonction des ressources naturelles et humaines, ne peut atteindre son objectif sans un développement harmonieux des infrastructures.

Le projet de fin d'étude porte sur une étude APD d'une nouvelle ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud sur le tronçon du Pk 76+000 au Pk 96+725 avec une vitesse rapide de 220 km/h et lente de 100 km/h avec la conception de la nouvelle gare voyageurs de la nouvelle ville Hassi-Messaoud.

Ce projet de fin d'études a été très bénéfique pour nous, car il nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances et de comprendre les différents problèmes techniques qui peuvent survenir dans un projet ferroviaire. Nous avons eu l'opportunité de bénéficier de l'expérience pratique des professionnels du domaine, ce qui nous a été très précieux. De plus, nous avons appris une méthodologie rationnelle pour gérer un projet ferroviaire, ce qui nous a permis d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser les outils informatiques, notamment les logiciels spécifiques utilisés dans ce domaine comme AUTOCAD, COVADIS16, GLABALE MAPPER, ...

Le travail a été réalisé selon les normes et les recommandations de SNTF et UIC, tout en assurant le confort et la sécurité aussi bien que l'économie et l'environnement.

Dans tous ces aspects de l'étude nous avons proposé des solutions et des techniques à certains problèmes pertinents comme le phénomène de l'ensablement. Nous avons aussi proposé une solution au problème de nuisances sonore prévu dans la gare de la nouvelle ville Hassi-Messaoud, où nous préconisons de construire une digue avec les excès de remblais constatés lors des calculs.

LA BIBLIOGRAPHIE

[1] : Henin et al., 1960.

[2] : Lemoine, 1996.

[3] :Cours voie ferrée Mr. Morsli. ENSTP.

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

[5] :SNCF. (2006). IN 0272 Conception du tracé de la voie courante inf 220 km. paris.

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

[7] :UIC (741 OR). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie. 3e Edition.

[8] :SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[9] :SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[10] :Cours hydraulique et assainissement de Mr. Rahmani ENSTP

[11] :Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[13] :Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien
Edition, CRSTRA, 2015.

Ouargla — Wikipédia (wikipedia.org).

http ://forum-algerie.com.

1: Vignole-rail profile (60 E1) [www.voestalpine.com] | Download Scientific Diagram (researchgate.net).

ANNEXES

Listing Axe En Plan

Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Touggourt-Hassi Messaoud Plage
d'abscisse : Début : 76+000, Fin : 96+725

Axe En Plan

Date du listing 08/06/2023 à 10 : 32: 24

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	211.77gr	821,347	76+000.000	765227,733	3604020,383
Clothoïde 1	Paramètre	-1000,000	100,000	76+821.347	765076,753	3603213,031
Arc 1	Rayon	-10000.000 m	494,767	76+921.347	765058,207	3603114,766
	Centre X	755237.922 m				
	Centre Y	3605002.091 m				
Clothoïde 2	Paramètre	1000,000	100,000	77+416.115	764952,849	3602631,398
Droite 2	Gisement	215.56gr	1774,124	77+516.115	764928,819	3602534,329
Clothoïde 3	Paramètre	734,847	120,000	79+290.239	764499,616	3600812,904
Arc 2	Rayon	4500.000 m	909,068	79+410.239	764471,103	3600696,342
	Centre X	768851.558 m				
	Centre Y	3599665.998 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-734,847	120,000	80+319.307	764353,450	3599796,478
Droite 3	Gisement	201.00gr	6884,218	80+439.307	764351,037	3599676,503
Clothoïde 5	Paramètre	700,000	140,000	87+323.525	764243,192	3592793,129
Arc 3	Rayon	3500.000 m	729,083	87+463.525	764241,932	3592653,137
	Centre X	767741.899 m				
	Centre Y	3592668.305 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-700,000	140,000	88+192.608	764320,731	3591929,650
Droite 4	Gisement	185.19gr	9667,413	88+332.608	764352,099	3591793,212
				96+725.021	766580,923	3582386,235
Longueur totale de l'axe 20725.021 mètre(s)						

Listing Profil En Long Projet

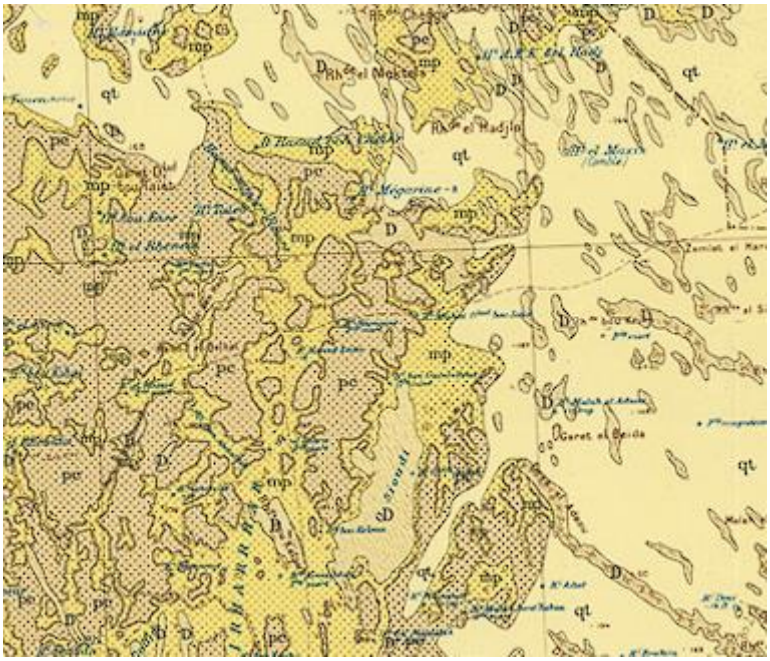
Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Touggourt-Hassi Messaoud Plage
d'abscisse : Début : 76+000, Fin : 96+725

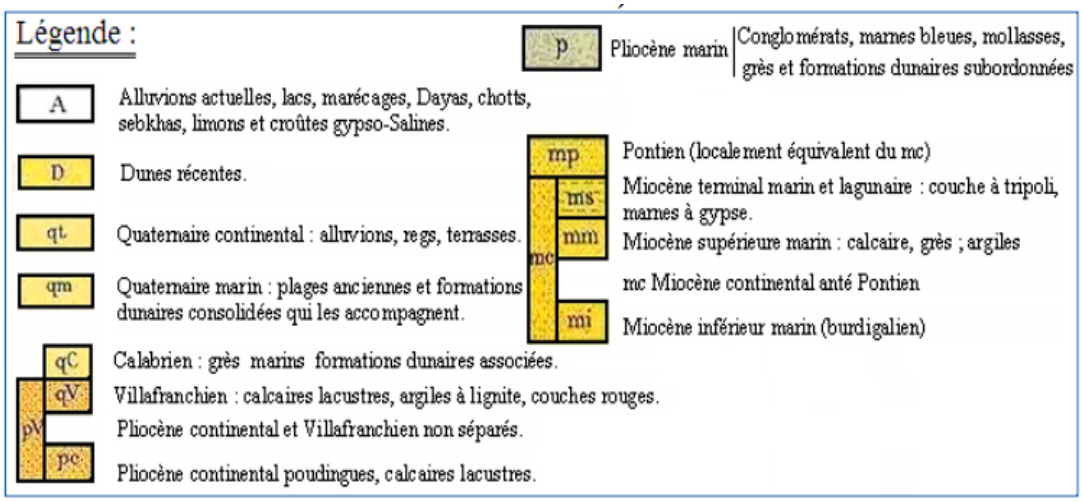
Profil En Long Projet

Nom du dessin	PFE23.dwg
Nom de l'axe	PFE 23 - PFE 23
Table associée	Aucune...
Date du listing	08/06/2023 à 10 :32 : 24

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.90 %	1080,528	76+000.000	109,456
Cercle 1	Rayon	-30000.000 m	269,116	77+080.528	119,149
	Sommet Absc.	77+349.644 m			
	Sommet Alt.	120.356 m			
Pente 2	Pente	-0.00 %	1782,805	77+349.644	120,356
Pente 3	Pente	0.01 %	1574,978	79+132.449	120,356
Cercle 2	Rayon	60000.000 m	135,969	80+707.427	120,458
	Sommet Absc.	80+703.578 m			
	Sommet Alt.	120.457 m			
Pente 4	Pente	0.23 %	1102,224	80+843.396	120,620
Cercle 3	Rayon	-200000.000 m	208,731	81+945.619	123,189
	Sommet Absc.	82+411.679 m			
	Sommet Alt.	123.732 m			
Pente 5	Pente	0.13 %	635,731	82+154.350	123,566
Cercle 4	Rayon	-30000.000 m	441,663	82+790.082	124,384
	Sommet Absc.	82+828.681 m			
	Sommet Alt.	124.409 m			
Pente 6	Pente	-1.34 %	148,852	83+231.745	121,701
Cercle 5	Rayon	19000.000 m	310,406	83+380.597	119,701
	Sommet Absc.	83+635.870 m			
	Sommet Alt.	117.986 m			
Pente 7	Pente	0.29 %	3440,222	83+691.002	118,066
Cercle 6	Rayon	-80000.000 m	201,378	87+131.225	128,049
	Sommet Absc.	87+363.359 m			
	Sommet Alt.	128.386 m			
Pente 8	Pente	0.04 %	3679,797	87+332.603	128,380
Pente 9	Pente	-0.04 %	4112,567	91+012.399	129,794
Pente 10	Pente	0.00 %	2325,000	95+124.966	128,211
Pente 11	Pente	0.00 %	550,055	96+725.021	128,211
Longueur totale de l'axe 2025.021 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 20725.021 mètre(s)					

Carte géologique wilaya de Ouargla





Canalisations circulaires partiellement remplie

Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

Classifications des sols selon UIC.

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse). 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7t/m3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines. 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30.

Tableau : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).

E	0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	0 m	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05 m	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10 m	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15 m	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0 m	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	(2.50-L) /2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	0 m	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1 m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes

		existantes de groupe UIC autre que ‘’7, 8 et 9 sans voyageurs’’.
d	0 m	Lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	0	Pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
	0,10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	0.01m	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux

Description : étude APD de la ligne de chemin de fer Touggourt-Hassi Messaoud

Tableau : Récapitulatif des volumes de terrassement

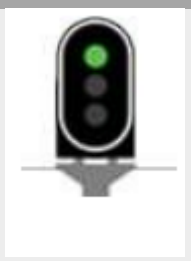
Terrassement	Volume (m^3)
Déblais	45880,3
Remblais	482193,1

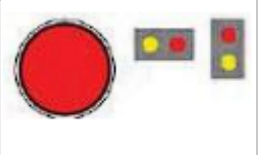
Tableau : Récapitulatif des volumes des couches d'assise.

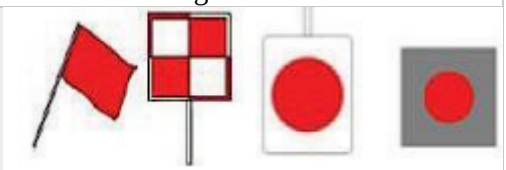
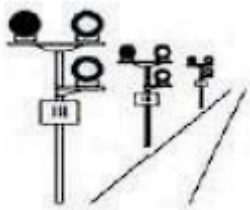
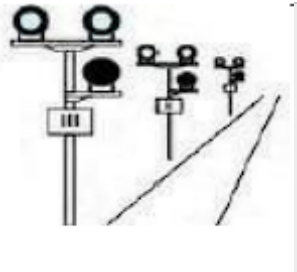
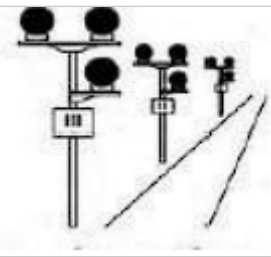
Matériau	Volume cumulé
BALLAST	42567,5
SOUS BALLAST	65253.1
TOUT_VENANT	80372,0

LES PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRES ET LEUR INDICATION

Tableau XV-2 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.	ou 	
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		

Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		

La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/h Pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60km/h Pour franchir une aiguille		
Signal	Indication	Signalisation	
Le signal d'arrêt à main	Il commande l'arrêt immédiat		
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F	L'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne Verticale		
	Refouler par l'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale		
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.		

Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire	

Plaque d'identification	Indication
	Un signal carré
	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant
	Un sémaphore de B.A.P.R
	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
	Un disque
	Un avertissement