République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique GHARDAIA-OUARGLA du PK 32+000 au PK 46+000 avec la conception de la gare de ZELFANA.

Présenté par :

DRARENI Zouhir

MAYOUF Fateh

Encadré par :

Mme. DERRICHE Zohra

Mr. OUALI Adel

Promotion 2022 / 2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIEMENTS

Au premier lieu, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions également notre encadreur Mr. ADEL OUALI pour ses conseils, ses remarques pertinentes qui nous ont toujours guidés tout le long de notre travail.

Nous tenons à remercier particulièrement notre Co-encadreur Mme. ZOHRA DERRICHE pour ces conseils et son aide qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons également à remercier les honorables membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordés en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos remerciements s'adressent, également, à Mr. BENCHOHRA KARA et Mr. KHALED MABROUKI pour leurs disponibilités et leurs remarques pendant toute la période de ce projet.

Nous voudrons adresser un grand merci à Mr MORSLI et à tous les personnels de L'ENSTP pour leurs précieux conseils et leurs efforts spécialement Mme. Bourebia et Mme. Makoudi.

Un grand merci à nos parents pour leurs précieux conseils, leurs efforts et leurs encouragements particuliers pour que nous en fassions plus.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE ……1

CHAPITRE I : LE RESEAU FERROVIAIRE NATIONAL

I.1 Introduction : 2
I.2 Historique de chemins de fer en Algérie : 2
I.2.1 La première ligne....2
I.2.2 Premier plan de développement 2
I.2.3 Bône-Guelma. 3
I.2.4 Deuxième plan de développement 3
I.3 Les réseaux ferroviaires aujourd'hui et les plans de développement pour l'avenir : 4
I.4 Conclusion....5

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction : 6
II.2 Présentation du site : 6
II.2.1 Relief : 7
II.2.2 Climat : 7
II.2.3 Sismicité : 7
II.3 Présentation du projet : 7
II.3.1 Les caractéristiques du projet : 8
II.3.1.1 Caractéristiques de la voie : 8
II.3.2 Superstructure : 9
II.4 Situation locale du projet : 9
II.4.1 Les infrastructures de base 9
II.4.1.1 Les infrastructures ferroviaires 9
II.4.1.2 Les infrastructures routières....9
II.4.1.3 Le Réseau Aéroportuaire 10
II.5 Avantages et objectifs socio-économiques de projet : 10

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 Introduction : 11
III.2 Les couches d'assise 11
III.2.1 Le rail : 11
III.2.1.1 Assemblage des rails : 13

III.2.2 Les traverses : 13
III.2.2.1 Rôle des traverses : 14
III.2.3 Les attaches traverses-rail : 14
III.2.4 L'appareil de voie : 15

CHAOITRE IV : TRACE EN PLAN

IV.1 Inroduction : 17
IV.2 Conditions et règles de tracé : 17
IV.3 Les éléments de tracé en plan : 17
IV.3.1 L'alignement 18
IV.3.2 L'arc de cercle 18
IV.3.3 La courbe de raccordement 18
IV.3.4 La longueur de courbe de raccordement (clothoïde) : 19
IV.4 Le dévers 19
IV.4.1 Dévers théorique : 19
IV.4.2 Dévers pratique : 20
IV.4.3 Notion de l'insuffisance (I) et de l'excès du dévers (E) 21
IV.4.3.1 insuffisance de d évers I 21
IV.4.3.2 L'excès du dévers E : 21
IV.5 Application au projet : 22
IV.6 Introduction : 25
IV.7 Procédé de calcul : 25
IV.8 Exemple de calcul d'axe : 26

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V.1 Introduction : 29
V.2 Définition : 29
V.3 Eléments de composition du profil en long : 29
V.3.1 Choix des alignements droits : 29
V.3.2 Choix des cercles : 30
V.4 Application au projet : 31
V.5 Conclusion : 31

CHAPITRE VI : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1 Introduction : 32
VI.2 Cadre climatique de la zone d'étude 32

VI.2.1 Pluviométrie 32
VI.2.1.1 Acquisition des données 32
VI.2.1.2 Pluies annuelles 32
VI.2.1.3 Variation moyennes mensuelles des précipitations 33
VI.2.1.4 Pluies de courtes durées : 33
VI.2.2 Température 34
VI.3 Etude hydrologique : 35
VI.3.1 Caractéristiques des bassins versants : 35
VI.3.1.1 Le temps de concentration « Tc » : 35
VI.3.2 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) : 38
VI.4 Etude Hydraulique : 40
VI.5 Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 44
VI.5.1 Dimensionnement des fossés : 45

CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1 Introduction : 49
VII.2 L'étude géologique 49
VII.2.1 Introduction : 49
VII.2.2 Géologie de la plate-forme saharienne : 49
VII.2.3 Géomorphologie de la région : 50
VII.3 Etude géotechnique : 51
VII.3.1 Introduction : 51
VII.3.2 Programme d'investigation géotechnique : 51
VII.3.2.1 Lot Tracé : 52
VII.3.2.2 Lot Ouvrage : 53
VII.3.3 Campagne De Reconnaissance Géotechnique : 54
VII.3.3.1 Essai in situ : 54
VII.3.3.2 Analyse du laboratoire : 57

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1 Introduction : 58
VIII.2 Le ballast : 58
VIII.2.1 Rôle du ballast : 58
VIII.3 Sous couche : 58
VIII.3.1 Rôle de la sous couche : 59

VIII.4 La plate-forme : 59
VIII.4.1 Définition : 59
VIII.4.2 Classification des sols pour la plateforme : 59
VIII.4.3 La classe de portance de la plate-forme : 60
VIII.5 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : 61
VIII.6 Application au projet : 61
VIII.7 Conclusion : 62

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

IX.1 Introduction : 63
IX.2 Profil en travers type : 63
IX.2.1 Les éléments du profil en travers 63
IX.2.2 Les profils en travers de notre projet 64

CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

X.1 Les Terrassements : 65
X.1.1 Introduction 65
X.1.2 Pente de talus : 65
X.1.3 Calcul de la stabilité de talus : 66
X.1.4 Vérification de la stabilité des Talus : 66
X.2 Les ouvrages : 69
X.2.1 Influence sur le choix du type d'ouvrage 69
X.2.2 Croisement avec une route : 70
X.2.3 Les ouvrages de notre projet : 70
X.2.3.1 Passage supérieur : 70
X.2.3.2 Ouvrages hydrauliques : 71
X.3 Calcul des volumes des terrassements : 71
X.4 Conclusion 72

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE ZELFANA

XI.1 Introduction : 73
XI.2 Type de gare : 73
XI.3 Etude du plan de masse d'une gare : 73
XI.4 Aménagement de la gare 73
XI.4.1 Installations d'une gare à voyageurs 73
XI.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux : 74

XI.4.3 Garage franc : 74
XI.4.4 Heurtoir : 75
XI.5 Caractéristiques géométriques des gares : 75
XI.5.1 Longueur utile d'une voie de stationnement 75
XI.5.2 Déclivité dans les gares : 76
XI.5.3 Les Quais : 76
XI.5.4 Les appareils de voie 77
XI.6 Conditions de conception des gares : 78
XI.7 Application Au Projet : 78
XI.8 Assainissement dans les gares : 80
XI.8.1 Assainissement transversale : 80
XI.8.2 Assainissement longitudinal : 80

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 Introduction : 81
XII.2 Objet de la signalisation ferroviaire : 81
XII.3 Implantation des signaux en Algérie: 82
XII.4 Principe de signalisation ferroviaire : 82
XII.4.1 Signalisation classique : 82
XII.5 Système de signalisation proposé pour notre projet 83
XII.5.1 Enclenchements électroniques 83
XII.5.2 Poste de commande centralisé (PCC) 83
XII.5.3 Système de signalisation ERTMS / ETCS 84
XII.5.4 Système de Cantonnement block automatique de voie unique 84

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 Introduction 85
XIII.2 Objectifs de l'étude impact de l'environnement 85
XIII.3 Description du milieu 85
XIII.3.1 Milieu physique 85
XIII.3.1.1 Climatologie 85
XIII.3.1.2 La topographie de la région 85
XIII.3.1.3 Aspect Géologique 85
XIII.3.1.4 Aspect hydrogéologique 86
XIII.3.1.5 Qualité de l'air 86

XIII.3.2 Milieu biologique 86
XIII.3.2.1 La biodiversité végétale et faune 86
XIII.3.3 Milieu humain 87
XIII.3.3.1 Démographie 87
XIII.3.4 Activité économique 87
XIII.3.4.1 L'Agriculture 87
XIII.3.4.2 L'industrie 87
XIII.4 Résume des impacts positifs et négatifs des couloirs 87
XIII.5 Mesure d'insertion et d'atténuation proposées 88
XIII.5.1 Mesures d'atténuation générales en phase de chantier (construction) 88
XIII.5.2 Mesures correctrices et d'insertion 88
XIII.5.2.1 Mesures lors de la phase de réalisation et d'exploitation 88
XIII.5.2.2 Mesures sur le bruit 89
XIII.5.2.3 Mesures sur la qualité des eaux 89
XIII.5.2.4 Mesures sur la protection des réseaux d'énergie 89
XIII.5.2.5 Mesures sur les déchets 89
XIII.5.3 Mesures contre l'ensablement 89
XIII.6 Conclusion 91

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

SYNTHESE DE TRAVAIL ……..……94

Liste des Tableaux

Tableau III.1 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 12
Tableau III.2 les caractéristiques d'appareils de voie de projet 16
Tableau IV.1 Valeur minimale de l'alignement recommandé 18
Tableau IV.2 Valeur limite du dévers pratique 20
Tableau IV.3 Récapitulatif des valeurs limites des paramètres d'axe 21
Tableau IV.4 Paramètres géométriques du tracé 22
Tableau IV.5 Les résultats de calculs pour notre axe en plan 24
Tableau V.1 les longueurs minimales des éléments de profil en long 30
Tableau V.2 Valeurs de Rayon vertical minimale 30
Tableau V.3 Valeurs des paramètres de profil en long (SNTF) 31
Tableau VI.1 Coordonnées de station hydro climatiques de Ghardaïa 32
Tableau VI.2 Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation en mm. 33
Tableau VI.3 Valeurs du paramètre « a » selon les fréquences 34
Tableau VI.4 Valeur du paramètre ≪b≫ selon la station 34
Tableau VI.5 Valeurs des intensités obtenues en mm/h (Ghardaïa) 34
Tableau VI.6 Température moyennes mensuelles au niveau de ghardaïa 35
Tableau VI.7 les caractéristiques des bassins versants dans la zone du pk 32+000 ou pk 46+000 37
Tableau VI.8 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle 39
Tableau VI.9 Les valeurs de coefficient de rugosité selon la nature de l'ouvrage 41
Tableau VI.10 Résultats de dimensions des ouvrages de drainage avec Ks = 70 et I = 1% 42
Tableau VI.11 les conditions d'auto curage de chaque ouvrage employé 44
Tableau VI.12 Calcul de la surface du bassin versant pour les talus 46
Tableau VI.13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de déblai 47
Tableau VI.14 Dimensionnement du fossé proposé 48
Tableau VII.1 Programme d'investigation de Lot tracé (Puits de reconnaissance) 52
Tableau VII.2 Programme d'investigation de Lot tracé (sondage carotté) 53
Tableau VII.3 Programme d'investigation de Lot ouvrage 54
Tableau VII.4 Résultats de l'essai PDL 09 au pk 33+000 (profondeur de 2.3 m) 56
Tableau VII.5 Résultats de l'essai PDL 10 au pk 38+945 (profondeur de 2.3 m) 56
Tableau VII.6 Tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification et de propreté des sols et leur classification GTR 57
Tableau VIII.1 La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34) 60
Tableau VIII.2 Dimensionnement de la couche d'assise 61
Tableau VIII.3 structure de la voie 62
Tableau IX.1 Les éléments du profil en travers 64
Tableau X.1 Résultats du calcul de stabilité (déblai) 68
Tableau X.2 Résultats du calcul de stabilité (remblai) 69
Tableau X.3 Résultats du calcul de stabilité (remblai) 72
Tableau X.4 Récapitulatif des volumes des couches d'assise 72
Tableau XIII.1 Impacts positifs et négatifs des couloirs 87

Liste des figures

Figure I.1 Les réseaux ferroviaires algériens période coloniale 3
Figure II.1 Géo localisation de la wilaya de Ghardaïa sur la carte d'Algérie.....6
Figure II.2 Localisation du projet.....8
Figure III.1 Les constituants de la section transversale de rai 12
Figure III.2 Profil rail de type UIC60 E 12
Figure III.3 Traverse bi bloc 14
Figure III.4 Les composantes d'attache type nabla 14
Figure III.5 Un branchement et ses éléments constitutifs.....15
Figure III.6 Schéma illustrative de l'appareil de voie 16
Figure IV.1 Schéma de raccordement de progressif 18
Figure IV.2 Caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements.....25
Figure VI.1 Caractérisation pluviométrique de la zone traversée par le projet de Ghardaïa – Ouargla (moyenne sur la période 1986-2005) 33
Figure VI.2 Dimensions d'une buse.....41
Figure VII.1 La plate-forme saharienne septentrionale qui forme la majorité du tracé 49
Figure VII.2 Carte géologique de la plate-forme sahariènne septentrional (Extrait de la carte géologique de l'algérie 1/500000).....50
Figure VII.3 Différents ensembles géomorphologiques de la zone d'étude.....51
Figure IX.1 Schéma en coupe d'une plateforme type 63
Figure X.1 Les zones des déblais et des remblais 65
Figure X.2 Les matériaux de déblai et ces paramètres 67
Figure X.3 Calcul de stabilité pour la géométrie de 1H/3V. Situation statique.....67
Figure X.4 Calcul de stabilité pour la géométrie de 1H/3V. Situation pseudo statique.....67
Figure X.5 Les matériaux de remblais et ces paramètres 68
Figure X.6 Calcul de stabilité pour la géométrie de 3H/2V. Situation statique.....68
Figure X.7 Calcul de stabilité pour la géométrie de 3H/2V. Situation pseudo statique.....69
Figure X.8 Implantation da la piste allant ver RN 49.....71
Figure X.9 Implantation de l'ouvrage 71
Figure XI.1 Schématisation de la marge de glissement.....74
Figure XI.2 Schéma illustratif de garage franc 75
Figure XI.3 Photo représentative d'un heurtoir 75
Figure XI.4 Longueur utile 76
Figure XI.5 La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie (source UIC741 OR).....77
Figure XI.6 La hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie dans lagare de Zelfana 79
Figure XII.1 Schéma illustratif de canton.....82
Figure XIII.1 Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude.....86
Figure XIII.2 Problème d'ensablement dans les zones désertiques 90
Figure XIII.3 Traitement mécanique contre l'ensablement.....90

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لمرحلة ما قبل المشروع (APD) خاصة بجزء من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين غرداية و وقلة (المقطع من pk 32+000 إلى pk 46+000) مع تهيئة محطة زلفانة.

اعتمدت عملية تحديد الخصائص التقنية لخط السكة الحديدية المقترح على التوصيات وكذلك الممارسات التي تتبعها الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) وغيرها من أنظمة السكك الحديدية الأكثر تطورا معايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC). وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستعمال برنامج CIVIL 3D 2020

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa–Ouargla (tronçon du Pk32+000 au Pk 46+000), avec aménagement de la gare de Zelfana.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour 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 (union internationale de chemin de fer), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel CIVIL 3D 2020.

Abstract

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Ghardaïa–Ouargla (the section from Pk 32+000 to Pk 46+000), with development of the station Zelfana.

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 CIVIL 3D 2020 software.

INTRODUCTION GENERALE :

Dans le cadre de programme de développement des transports ferroviaires inscrit au plan quinquennal du secteur du transport algérien, l'ANESRIF restructure le réseau ferroviaire national qui permettra, l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, le désenclavement des régions du Sud du pays.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée entre Ghardaïa et Ouargla qui fait une partie intégrante du méga projet Boucle Sud Est.

Le projet fin d'étude a pour objet l'étude d'APD sur un tronçon de 14 km de la ligne Ghardaïa-Ouargla dans le cadre de la réalisation de la Boucle Sud Est.

Ce document rapporte le travail réalisé. Il est structuré en 14 chapitres. Après l'introduction générale une présentation du projet est donnée avec le relief, la climatologie, sismicité...etc. Dans le chapitre En utilisant l'étude préliminaire nous choisissons le couloir d'étude. Ensuite nous définissons les différents composants de la voie. Puis on est passé à la conception géométrique du tracé après on a présenté l'étude géotechnique et géologique et le dimensionnement de la structure d'assise, puis on détermine et on dimensionne les installations de drainage.

En fin, dans le chapitre de la gare on a fait un aménagement et conception de la gare, finalisant notre travail avec un devis estimatif et quantitatif.

CHAPITRE I : LE RESEAU FERROVIAIRE NATIONAL

I. Le réseau ferroviaire national

I.1 Introduction :

Dans le but de stimuler le développement et la croissance de secteur de transport et de travaux publics le gouvernement a alloué des fonds considérables pour soutenir le programme d'investissement dans le secteur ferroviaire.

Parmi ces programmes de développement figure la construction de la nouvelle ligne ferroviaire entre Ghardaïa et Ouargla d'un linéaire de 163 Km.

La mise en service de cette ligne ferroviaire contribuera au développement socioéconomique de la région et soulagera le réseau routier d'une partie du trafic de marchandises notamment.

Cette ligne pourrait avoir plusieurs effets sur la région, notamment :

- Amélioration de la connectivité les régions de sud au reste du pays, ce quifacilitera la circulation des personnes et des biens.
- Stimuler l'activité économique dans la région, en facilitant l'accès aux marchés.

I.2 Historique de chemins de fer en Algérie :

I.2.1 La première ligne

Dès 1833, une première proposition de réseau de chemin de fer a été élaborée par Emile Pereire, non suivi d'effet dans l'immédiat mais dont on retrouvera l'esquisse ultérieurement. En fait la première réalisation est une courte ligne minière à voie métrique de 32,5 km qui reliera Bône à Aïn-Mokra (1859- 1867).

I.2.2 Premier plan de développement

Sous les auspices de Napoléon III et du Duc de Morny, le décret impérial du 8 avril 1857 établit le premier plan de développement qui porte sur la ligne principale Oran-Alger-Constantine (881 km) et 6 lignes de raccordement aux principaux ports (Philippeville, Bougie, Bône, Ténès, Arzew) le tout totalisant 1.357 km. Trois tronçons prioritaires ont été confiés à la Compagnie des chemins de fer algériens: Alger-Blida en 1862 (L'armée avait d'abord construit la section Alger-Boufarik en 1858), Oran-Saint Denis du Sig (1868), Philippeville-Constantine (1870), la construction des ces deux dernières ayant été transférée à la Compagnie Paris-Lyon- Méditerranée. Au titre de ce premier plan seront également construits les tronçons Constantine-Sétif (1879- 1881), par la Compagnie de l'Est Algérien, et Blida

Saint Denis du Sig (1868-1871) par le PLM, ainsi que des lignes à l'ouest de l'Algérie par la Compagnie de l'Ouest Algérien. Par ailleurs, la Compagnie Franco-Algérienne réalisera les lignes à voie étroite Arzew-Saïda-Aïn Sefra (1879-1887) et Mostaganem- Tiaret. Ce sont 1.365 km qui ont alors été réalisés.

I.2.3 Bône-Guelma.

Dans l'est de l'Algérie, la Société de Construction des Batignolles se verra confier la ligne Bône Guelma, d'où la Compagnie de Bône à Guelma qui construira d'autres tronçons du réseau est, ainsi que des lignes en Tunisie.

I.2.4 Deuxième plan de développement

Sous la Présidence de Jules Grévy (Troisième République) un deuxième plan de développement sera adopté le 18 juillet 1879. Il comporte de nombreuses extensions au réseau du premier plan de développement, prévoyant 1.747 km de nouvelles lignes. La Compagnie de l'Ouest Algérien effectuera les travaux à l'ouest (Sidi-Bel-Abbès et Crampel), la Compagnie Franco Algérienne réalisera la voie étroite de Mostaganem-Tiaret. La Compagnie de l'Est Algérien assurera, de Sétif à Ménerville, le bouclage de la ligne Constantine-Alger. La Compagnie de l'Est Algérien complétera le réseau principal à l'est, ainsi que la desserte du sud à voie étroite, Biskra (1882) et Kenchela (1905). De 1879 à 1906 des lignes d'une longueur de 2.035 km seront construites. En 1907, un troisième programme portant sur 1.256 km de nouvelles lignes sera engagé. En 1946, le réseau algérien atteindra une longueur de 5.014 km.

Le 30 juin 1959 l'État français signe une convention pour créer la Compagnie des Chemins de Fer Français en Algérie (CCFA).

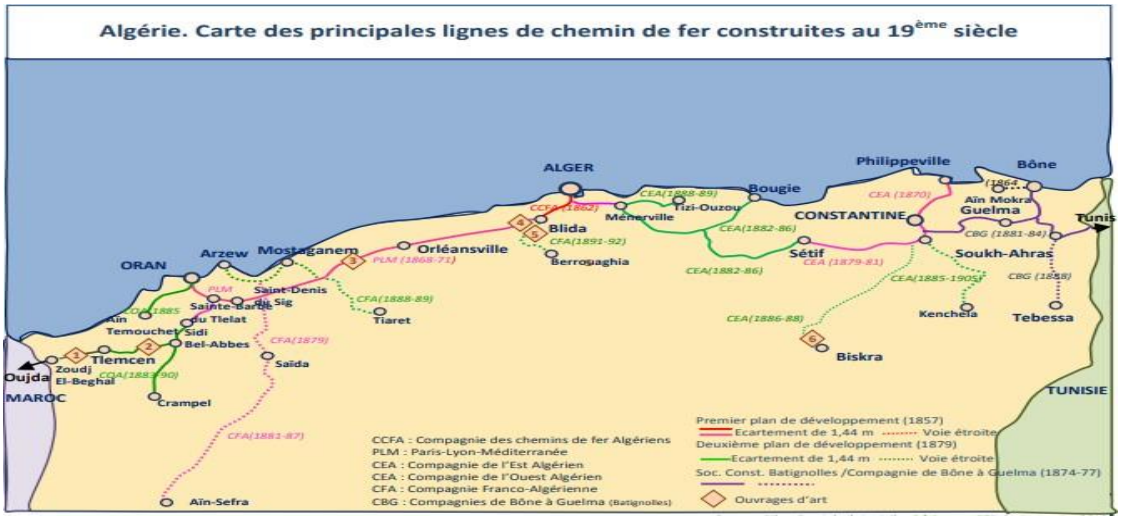


Figure I.1 Les réseaux ferroviaires algériens période coloniale

- après l'indépendance de l'Algérie en 1963 la Compagnie des Chemins de Fer Français en Algérie (CCFA) change de statut et de nom, et devient la Société Nationale des Chemins de Fer Algériens(SNCFA) elle disparait le 25 mars 1976 et est remplacée notamment par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF)

I.3 Les réseaux ferroviaires aujourd'hui et les plans de développement pour l'avenir :

Notre réseau ferroviaire s'étend sur 4498 km, et couvre 30 wilayas. Il est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises.

Le réseau ferroviaire algérien étaient divisé en plusieurs lignes principales, notamment la ligne Alger-Oran, la ligne Constantine-Annaba, la ligne Béchar-Oran et la ligne Skikda- Annaba. Il existe également plusieurs lignes secondaires qui relient des villes plus petites à des centres plus importants.

Un développement global s'appuie sur de nouvelles bases conformes aux exigences nouvelles et modernes de l'économie du pays, le grand intérêt pour l'intensification du réseau ferroviaire, emprisonné depuis des années par d'anciennes lignes à sens unique, en de nombreux points et lieux, et est exposé chaque année à l'érosion et à la rouille, et par conséquent l'accent mis sur les infrastructures est l'un des projets qui fonctionnent l'Algérie a maintenant pour restaurer le rôle prédominant des chemins de fer.

L'Algérie se prépare également à lancer un vaste programme pour lancer un vaste projet de réseau ferroviaire à partir de cette année, qui relierait le nord au sud du pays, ainsi qu'une coordination avec les pays voisins, comme le Mali, la Libye et le Nigeria, par le développement de lignes de transport communes (marchandises et voyageurs) à travers un réseau d'une distance estimée à 12 400 km.

- Relier le nord au sud du pays

À travers le projet susmentionné, le gouvernement se réjouit de relier le nord au sud du pays, en plus de compléter les intersections avec les pays voisins en développant des lignes de transport communes - liées au transport de marchandises et de passagers - avec un réseau à distance de 12 400 km Congestion du trafic dans de nombreuses villes, face aux défis climatiques, mais aussi création de richesses.

- Les grandes lignes à développer à l'avenir :

La première ligne : Alger-Boghzoul-Laghouat- Ghardaïa- El Maneaa- In Salah- Tamanrasset et la frontière algéro-nigériane à une distance de 2439 km.

La deuxième ligne : Oran-Bashar-Adrar-Bourj Badji Mokhtar-frontière algéro-malienne à une distance de 2210 km.

La troisième ligne : la zone portuaire d'Arzew-Bechar-Tindouf-Ghar Jbeilat à une distance de 1650 km.

La quatrième ligne : Jijel-Constantine-Batna-Biskra-Tikrit-Hassi Messaoud-Ilizi-Djanet à une distance de 2275 km.

Cinquième ligne : Annaba - Souk Ahras - Tébessa - Jabal Anak - El Oued - Toqart à une distance de 780 km.

I.4 Conclusion

Un grand pays d'une superficie énorme comme l'Algérie doit avoir un réseau densifié de chemins de fer malheureusement ce n'est pas le cas encore, l'amélioration de ce secteur est plus que nécessaire pour les investissements et l'augmentation des échanges entre les différentes régions du pays.

CHAPITRE II :

PRESENTATION DU PROJET

II. Présentation du Projet

II.1 Introduction :

La boucle du Sud-Est est une voie unique électrifiée d'une longueur de 560 km qui assurera le transport des voyageurs et de marchandises à travers les wilayas de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla et El Oued reliées au réseau ferroviaire national via Djelfa au centre et Biskra à l'est. Elle permettra des vitesses de 220 km/h pour les trains de voyageurs et 100km/h pour le fret. Ainsi, le voyageur parcourra la distance entre Ghardaïa-Ouargla en 50 minutes. Soit la moitié du temps à parcourir en voiture.

II.2 Présentation du site :

La zone d'étude se située dans la wilaya de Ghardaïa qui est limitée par les wilayas suivantes :

- Laghouat au nord,
- Djelfa au nord-est,
- Ouargla à l'est,
- Tamanrasset au sud,
- Adrar au sud-ouest,
- El Bayadh à l'ouest,

Dans ses limites administratives, Ghardaïa s'étend sur 24 395 km^2, La wilaya de Ghardaïa comprend 07 Daïra, qui se décomposant en 09 communes avec une population de 363 598 habitants.

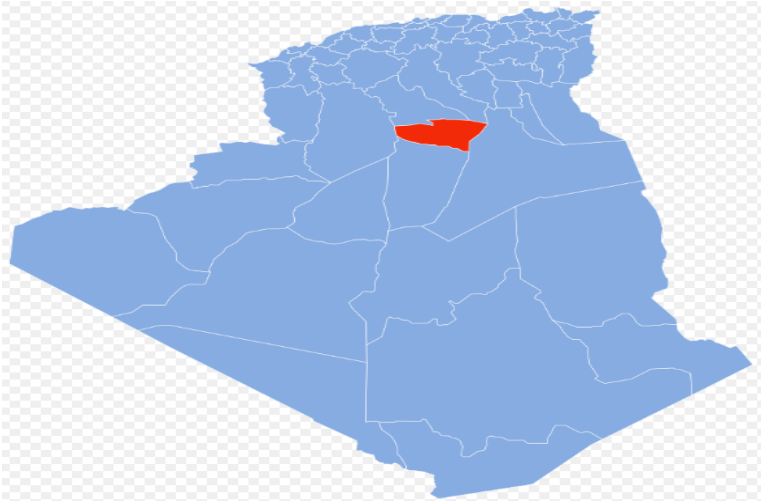


Figure II.1 Géo localisation de la wilaya de Ghardaïa sur la carte d'Algérie

II.2.1 Relief :

La zone d'étude se situe dans une région désertique à une altitude moyenne de 360 m. Le relief étudié est globalement plat.

II.2.2 Climat :

La région a un climat chaud atteignant régulièrement en été plus de 40°C et connait également des vents violents et de fréquentes tempêtes de sable en été. La pluie estrarissime et tombe généralement en automne et en hiver. Le climat reste dominé par la chaleur, la sécheresse et les grands écarts thermiques diurnes et annuels.

II.2.3 Sismicité :

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

- **Zone 0 :** sismicité négligeable ;
- **Zone I :** Sismicité faible ;
- **Zone IIa :** Sismicité moyenne ;
- **Zone IIb :** Sismicité élevée ;
- **Zone III :** Sismicité très élevée.

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

II.3 Présentation du projet :

La ligne complète où s'insère notre étude constitue une nouvelle liaison ferroviaire entre Ghardaïa et Ouargla sur une longueur de 160 km, Cette ligne est conçue comme une ligne de grande vitesse (LGV) sur voie normale, en respectant les caractéristiques géométriques selon les Standards UIC et les recommandations de la SNTF.

Le présent projet a pour objet la conception et l'étude en avant-projet détaillé (APD) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Ghardaïa-Ouargla exactement entre les points kilométriques (pk 32+000 et 46+000). Elle traverse la commune de Zelfana en passant parallèlement à la route nationale n°49 dans sa moitié de longueur avec la conception de la gare à Zelfana, dans le cadre de la réalisation de la ligne ferroviaire Nord-Sud.

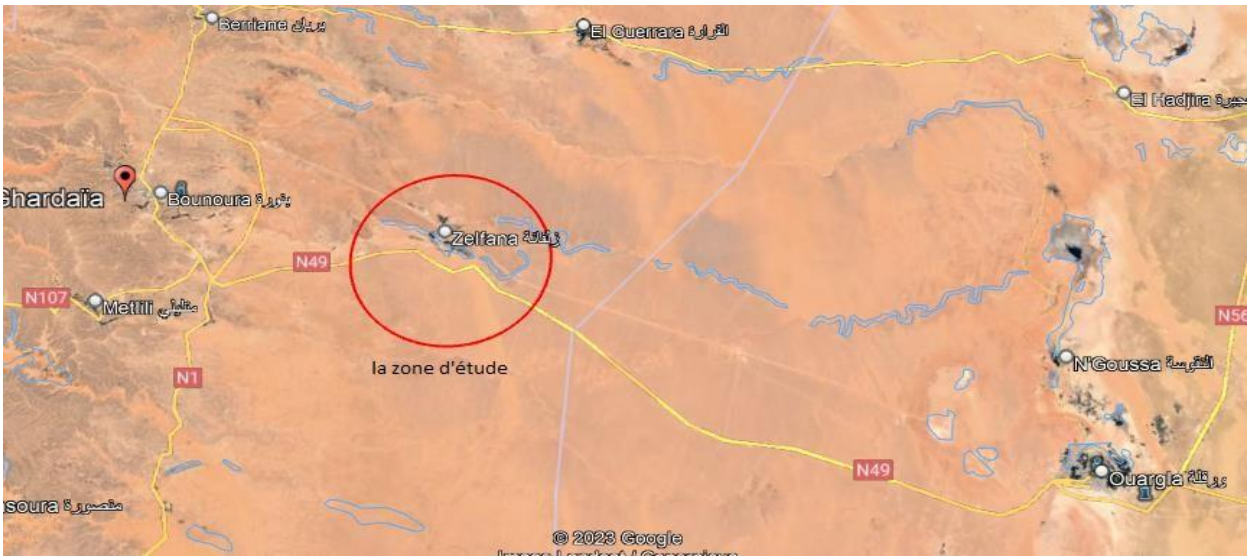


Figure II.2 Localisation du projet

II.3.1 Les caractéristiques du projet :

- **Conditions de Base :**

Le tracé est conçu pour une ligne de chemin de fer à voie unique avec la possibilité de sa duplication dans le futur. Cependant, tous les ouvrages d'art comme les ponts rails, les ponts routes...etc. ont été dimensionnés en prenant en considération la future extension par une deuxième voie et une électrification ultérieure, Cela pour éviter les problèmes d'élargissement de ces ouvrages et pour ne pas fermer la voie ultérieurement lors de la réalisation de l'extension.

- **Caractéristiques de Base :**

  - Longueur 14 km ;
  - Caractéristiques géométriques selon les standards UIC
  - Caractéristiques de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises) ;
  - Gares de croisement conçues pour garer des trains de 750 m ;
  - pont-route prévu pour double voie ;
  - Electrification en 25 KV / 50 hz.

II.3.1.1 Caractéristiques de la voie :

- **Ecartement :**

La voie normale sera construite à écartement normal e = 1435 mm sans sur écartement dans les courbes.

- **Charges à l'essieu :**
    - Pleine voie : 22.5 t par essieu
    - Ouvrages d'art 25t par essieu
- **Vitesses :**

La vitesse maximale à prendre en compte deans l'étude :

- Voyageurs : 220 km/h
- Marchandises : 100 km/h

- **Entraxes des voies :**

L'axe de la deuxième voie sera placé ultérieurement à 4,20 m de l'axe de la voie unique

- **Rampe et pente :**
    - En pleine voie : entre 0 % et 1.6 % (max)
    - Au niveau de la gare : 0 %

II.3.2 Superstructure :

- Type de rail : en pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1
- Type de traverses :
    - Traverses mono-bloc en pleine voie
    - Traverses en bois pour les appareils de voie
- Attaches : Attaches élastiques de type NABLA
- Appareils de voie :
    - UIC-60 300-1 :9 avec une vitesse de 50 km/h
    - UIC-60 500-1 :12 avec une vitesse de 60 km/h

II.4 Situation locale du projet :

II.4.1 Les infrastructures de base

II.4.1.1 Les infrastructures ferroviaires

La ligne ferroviaire actuelle Ghardaïa-Ouargla (la voie ferrée du Sud - Est algérien) avec une gare ferroviaire terminus actuelle.

II.4.1.2 Les infrastructures routières

Le réseau routier de la Wilaya est très dense et se compose de : RN 01, RN 49 RN 51 et RN 107

La longueur totale des routes sont classés comme suit :

- Routes nationales : 927 km,
- Chemins de Wilaya : 292 km,
- Réseau communal : 463 km,
- Routes non classées : 145km.

II.4.1.3 Le Réseau Aéroportuaire

En ce qui concerne le secteur aérien, la zone est desservie des aéroports nationaux ; Ain El Beida, Hassi Messaoud, Ghardaïa – Noumérate et El-Ménéa

II.5 Avantages et objectifs socio-économiques de projet :

Ce projet présente de multiples objectifs et avantages socio-économiques :

- La correction des dés équilibres régionaux ;
- Création et développement de l'emploi ;
- L'ouverture des régions les une aux autres ;
- L'adaptation et le développement des zones industrielles et des zones économiques ;
- Un gain de temps de transport et une amélioration de la sécurité.

CHAPITRE III :

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III. Superstructure de la voie

III.1 Introduction :

Une structure de voie ferrée est conçue pour fournir un transport sécurisé s'inscrivant dans une démarche de développement durable. Ceci exige que la voie supporte la masse roulante et sa répartition sur le sol en plus d'assurer le guidage des roues des véhicules par les deux files de rails, Pour obtenir ce résultat, les différents composants du système doivent assurer des fonctions spécifiques dans la structure de la voie. Celle-ci se divise en deux sous-structures.

Les couches d'assise et la plate-forme

III.2 Les couches d'assise

Les couches d'assise sont constituées de plusieurs éléments

III.2.1 Le rail :

Les rails sont des poutres en acier mises bout à bout et posées sur les traverses en deux lignes parallèles avec un écartement standard (**e=1435mm**) afin de constituer la voie ferrée.

Pour favoriser le centrage des roues du train, les rails sont généralement inclinés par rapport au plan de roulement avec une pente de 1/20.

Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter les efforts provoqués par la charge roulante. La voie donc reprend les efforts verticaux (poids) et horizontaux (force centrifuge) transmis par le train. Elle est également soumise à des efforts longitudinaux (la dilation ou la rétractation des rails, action d'accélération et de freinage).
- Réaliser le guidage des roues et leurs mouvements.
- Transmet le courant électrique, pour assurer la signalisation et pour la traction des trains sur les lignes électrifiées.

Le type de rail utilisé dans le projet entre «Ghardaia–Ouargla» est le type **Vignole UIC 60 E1.**

Pour une section transversale d'un rail du type Vignole on distingue :

- Le patin qui s'appuie sur la traverse.
- Le champignon qui constitue la table de roulement.

- L'âme : c'est la partie verticale qui relie le champignon au patin.
- Table de roulement.

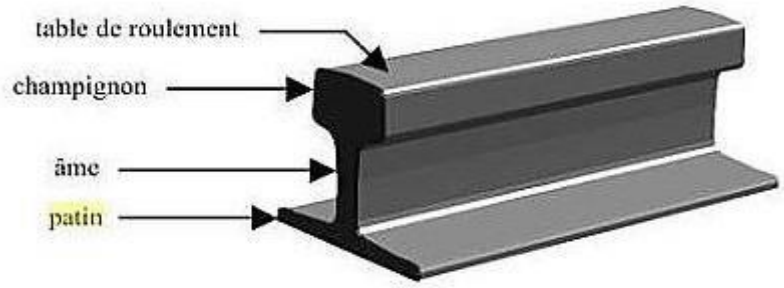


Figure III.1 Les constituants de la section transversale de rai

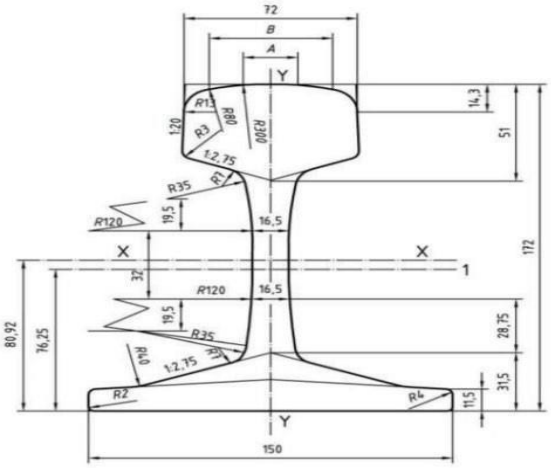


Figure III.2 Profil rail de type UIC60 E

Tableau III.1 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm^4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm^4

Résistance à la traction	$R \geq 880$ N/mm^2
Allongement	$R \geq 10\%$
durté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW

III.2.1.1 Assemblage des rails :

Les rails sont fabriqués dans des longueurs comprises entre 18 et 36 mètres. Pour établir la solidarité des barres qui forment la voie, on est obligé de les relié solidement à leur extrémité, pour effectuer cette liaison on emploie des éclisses et des soudures :

1. **Eclisse :**

Une éclisse est un composant de la voie ferrée, il s'agit d'une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails. Elle permet de faire la liaison entre deux rails consécutifs. Elles sont souvent utilisées à proximité des aiguillages.

2. **Soudures :**

Il y a deux types de soudures à savoir :

- La soudure électrique utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux du chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.
- La soudure aluminothermique réalisée en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport.

Actuellement, les poses neuves sont systématiquement faites dans la plupart des pays en L.R.S. En Algérie, les barres sont soudées par étincelage dans les ateliers en longueurs de 288 et 396 m, transportées l'emplacement de la pose, puis, après mise en voie, les tronçons de 288 ou 396 m sont raccordés entre eux par soudure aluminothermique ou par des soudeuses mobiles sur wagons.

III.2.2 Les traverses :

En voie ferrée, les rails reposent sur un plancher constituer par les traverses, cette dernièrepièce est posée en travers de la voie.

Il ne sera question que des traverses les plus utilisées en Algérie :

1. Les traverses en bois
2. Les traverses en béton :

- **Bibloc** : deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement (figure III.3)
- **Monobloc** : poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales

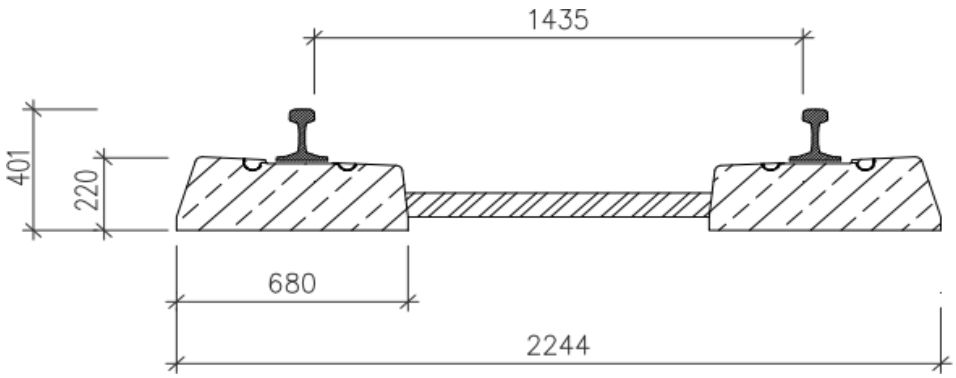


Figure III.3 Traverse bi bloc

III.2.2.1 Rôle des traverses :

La transmission des efforts entre le rail et le ballast se fait par cette pièce qui assure en même temps le maintien de l'écartement et l'inclinaison du rail 1/20

III.2.3 Les attaches traverses-rail :

Elles permettent la fixation du rail sur la traverse par l'intermédiaire du tire-fond. Elles assurent à la fois une élasticité dans les sens vertical et horizontal, une semelle d élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin d'assurer l'absorption des vibrations dans les rails

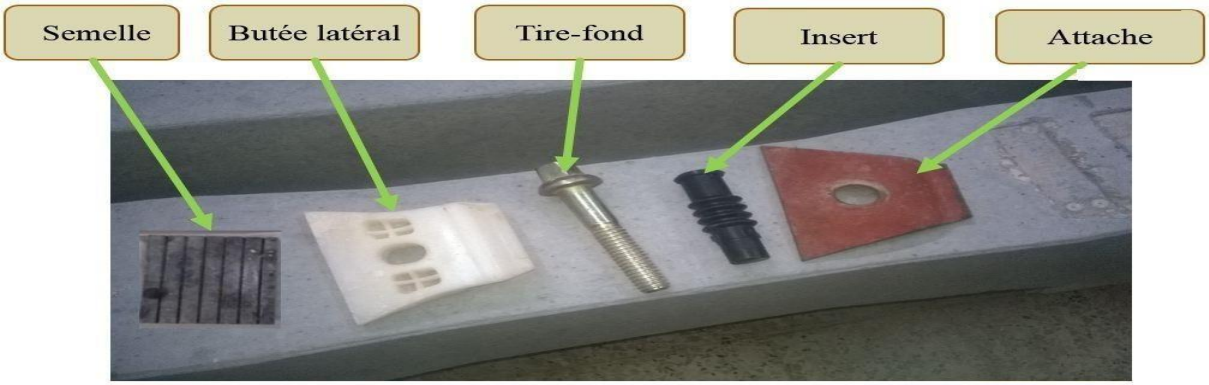


Figure III.4 Les composantes d'attache type nabla

III.2.4 L'appareil de voie :

Pour passer d'une voie à l'autre, il faut implanter des branchements à commande électrique ou manuelle ; ils sont caractérisés par leur angle de déviation au cœur. L'appareil de voie ne pouvant pas être posés en dévers et aucune courbe de raccordement n'étant possible pour la voie déviée, leur rayon minimum doit être déterminé en fonction de la vitesse souhaitée, ce dernier est constitué de rails spéciaux (croissement de rail) et d'élément mobiles (aiguille).

Les appareils de voie sont appelés aiguillage dans le langage courant :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 en atelier avant d'être installées à leur emplacement définitif, trois éléments constitutifs permettent de construire tous ces appareils :

- Aiguillage (la partie mobile)
- Le croisement proprement dit (qui comprend essentiellement le cœur de croisement)
- Une partie intermédiaire

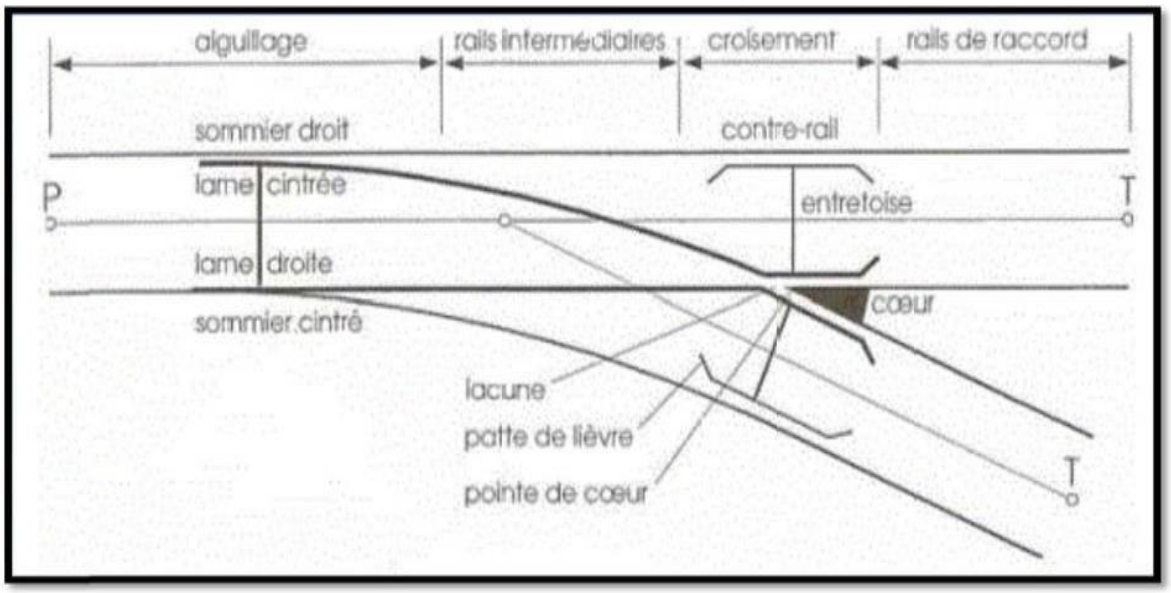


Figure III.5 Un branchement et ses éléments constitutifs

Tableau III.2 les caractéristiques d'appareils de voie de projet

Appareil de voie (1/n)	R (m)	a(m)	b(m)	C(m)	V (km/h)
1/12	500	20.797	22.684	22.684	60
1/9	300	16.616	17.922	19.922	50
	190	10.523	17.805	17.805	40

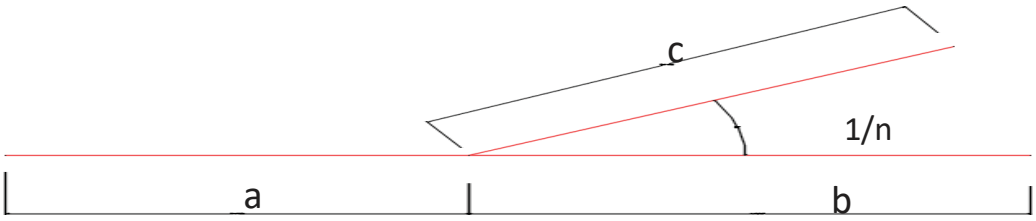


Figure III.6 Schéma illustrative de l'appareil de voie

CHAPITRE IV: TRACE EN PLAN

IV. Tacé en plan

IV.1 Inroduction :

L'étude géométrique du tracé de la voie à 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. Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs) ;

V_L : vitesse des trains lents (marchandises).

IV.2 Conditions et règles de tracé :

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

- Utiliser le maximum d'alignements droit et entre deux courbes la longueur minimale est de 0.5 V (km/h)

Talus en remblai : éviter

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

IV.3 Les éléments de tracé en plan :

Un trace en plan est constitué de trois éléments géométriques : une droite, un arc de cercleet une courbe de raccordement.

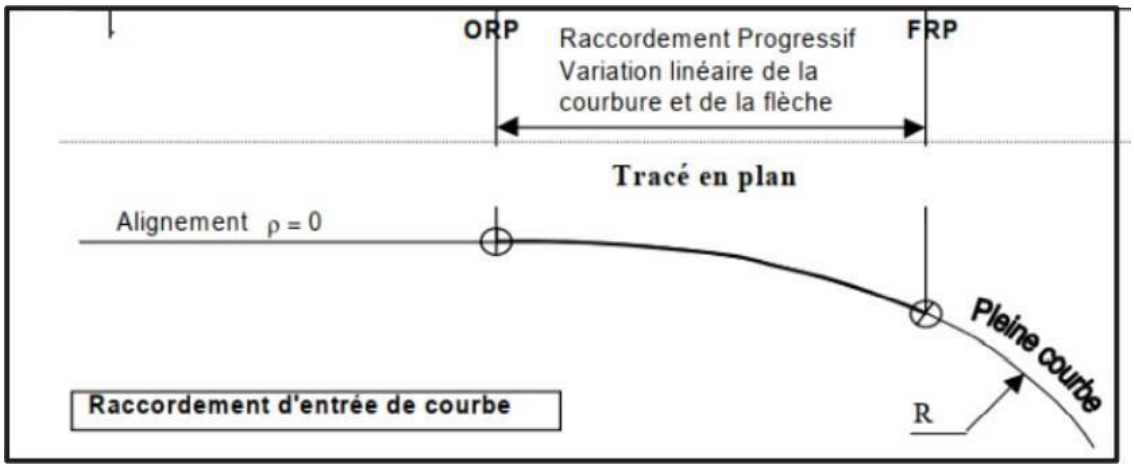


Figure IV.1 Schéma de raccordement de progressif

IV.3.1 L'alignement

C'est le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique. Il doit respecter la condition suivante : Ou V est la vitesse rapide 220 km/h.

Tableau IV.1 Valeur minimale de l'alignement recommandé

Valeur limite normale (m)	**V/2 = 110**
Valeur limite exceptionnelle (m)	V/3 = 73.3

IV.3.2 L'arc de cercle

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaires. Le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

Le rayon minimal autorisé est calculé selon la formule suivante : (en m)

$$\mathbf{R_{min} = \frac{11.8}{I+D} \times V^2_{max}}$$

IV.3.3 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 confortplus son aspect esthétique satisfaisant.

IV.3.4 La longueur de courbe de raccordement (clothoïde) :

La longueur de la rampe de dévers doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées par les paramètres suivants :

1. Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps $\frac{\Delta I}{\Delta t}$
2. Variation de dévers en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$
3. Variation de dévers en fonction du temps $\frac{\Delta d}{\Delta t}$

IV.4 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 la renverser à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants. Pour annuler ou modérer cette force, on sur élève le rail ou la file extérieur de la voie, cette différence deniveau dans une courbe est appelée dévers.

IV.4.1 Dévers théorique :

Considérons un véhicule circulant à une vitesse uniforme V dans une courbe circulaire de rayon R. Les dimensions du véhicule sont assez petit par rapport à R pour que l'on puisse considérer que tous ses points décrivent des cercles de même rayon.

Un élément matériel, de masse m, lié au véhicule, est donc soumis en plus de son poids à une force centrifuge MV^2/R. La résultante de ces deux forces est inclinée par rapport à la verticale d'un angle α tel que :

$$\mathbf{Tg(\alpha)= \frac{V^2}{g.R}}$$

Pour que le véhicule n'exerce pas d'efforts latéraux néfastes à la stabilité de la voie, il faut donner à la file extérieure des rails un surhaussement ou «dévers».

$d = 2e.tg\alpha = 2e.\frac{V^2}{g.R}$ (2e : écartement de la voix.)

La vitesse V étant normalement exprimée en km/h, la formule s'écrit dans le cas d'une voie à écartement normal : (2e = 1, 5m)

$$\mathbf{d=11.8\,\frac{V^2}{R}}$$

(**R** en m, **d** en mm et **V** en km/h)

IV.4.2 Dévers pratique :

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

$$d_p = \frac{1000.C}{R}$$

- C : Un coefficient du dévers, C = 0.006 × V 2 la valeur de C doit être une multiple de 15.
- R : Rayon de raccordement circulaire.

Le dévers de la voie courante doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

1. La valeur limite du dévers pratique sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 Valeur limite du dévers pratique

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

2. La valeur limite du dévers en fonction du rayon **R** de la courbe et de la variation $\frac{\Delta d}{\Delta l}$ de dévers dans les raccordements adjacents à la pleine courbe résulte du tableau ci-après :

Tableau IV-3 Valeur limite du dévers en function du rayon R

Variation de dévers (mm/m)	Dévers limite
Dd/dl < 2	d < (R-100)/2
2 < Dd/Dl < 3	d < (R-150)/2
3 < Dd/Dl < 4	d < (R-250)/2

IV.4.3 Notion de l'insuffisance (I) et de l'excès du dévers (E)

IV.4.3.1 insuffisance de d évers I

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre 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 **dth** ,et le dévers pratique **dp** : **I = dth − dp**

La limitation de l'insuffisance de dévers **I** sont définit dans le tableau suivant selon les norme de [SNTF] :

Tableau IV-4 valeur limite de l'insuffisance de dévers I

Valeur limite normale (mm)	150
Valeur limite exceptionnelle (mm)	160

IV.4.3.2 L'excès du dévers E :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible d'équilibre correspondant au dévers pratique, 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 pratique le dévers théorique : **E = dp − dth**

Les valeurs maximales admissibles des excès de dévers sont les suivantes :

Récapitulatif des valeurs limites des paramètres d'axe :

Tableau IV-5 valeur limite pour l'excès de dévers

Valeur limite normale (mm)	110
Valeur limite exceptionnelle (mm)	130

Tableau IV.3 Récapitulatif des valeurs limites des paramètres d'axe

Valeur	Limite normale	Limite exceptionnelle
d_p	160	180
I (mm)	150	160
E (mm)	110	130

Dd/Dt (mm/s)	50	60
Dd/Dl (mm/m)	0.81	0.98
DI/Dt (mm/s)	75	90

IV.5 Application au projet :

Selon la SNTF on a les données suivantes :

Tableau IV.4 Paramètres géométriques du tracé

Vitesse des trains rapides (voyageurs).	**220 km/h**
Vitesse des trains lents (marchandises)	100 km/h
Excès de dévers (valeur limite normale)	110 mm
Insuffisance de dévers maximum	150 mm
Dévers max	160 mm
Variation de dévers en fonction du temps	50 mm/s
Variation de l'insuffisance de dévers (Valeur limite normale)	75 mm /s
Variation de dévers (valeur limite normale)	**0.818** mm/m

D'après les données de ANESRIF :

- Vitesse des trains rapides V_R = 220km/h
- Vitesse des trains lents V_L = 100km/h

- **Calcul le rayon minimale :**

- **Rmin =** $\frac{11.8 \times Vmax^2}{Imax + dpmax}$ **AN : Rmin =** $\frac{11.8 \times 220^2}{150+160}$ **= 1842.32 m**

On prend **Rmin = 1850 m**

- **Calculons le dévers pratique dp associé au rayon minimum Rmin = 1850 m :**

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

- **C : c'est le coefficient de dévers $C = 0.006 \times Vmax^2$**

$$C = 0.006 \times 220^2 = 290.4$$

On prend C multiple de 15 : donc **C = 300**

Donc : $dp = \frac{1000 \times C}{Rmin} = \frac{1000 \times 300}{1850} = 162 \text{ mm} \geq 160 \text{ mm}$

=> $\mathbf{Rmin = \frac{1000 \times C}{dpRmin} = \frac{1000 \times 300}{160}} = 1875 \text{ m}$

On prend **Rmin = 1900 m**

Application au projet pour R = 1900 m :

dthr $= \frac{11.8 \times Vv^2}{Rmin}$ **AN :** $dthr = \frac{11.8 \times 220^2}{1900} = 300.6 \text{ mm}$

dthl $= \frac{11.8 \times Vm^2}{Rmin}$ **AN :** $dthl = \frac{11.8 \times 100^2}{1900} = 62.10 \text{ mm}$

dp $= \frac{1000 \times C}{Rmin}$ **AN** : $dp = \frac{1000 \times 300}{1900} = 157.9 \approx 158 \text{ mm}$

$$0.5 \text{ dth} \leq dp \leq 0.7 \text{ dth}$$

$$150.3 \leq 158 \leq 210.42 \quad \text{vérifié}$$

$I = dthr - dp$ **AN** : $I = 300.6 - 158 = 142.6 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$

$E = dp - dthl$ **AN** : $E = 158 - 62.10 = 95.9 \text{ mm} \leq 110 \text{ mm}$

- **Calcul de la longueur minimale de raccordement progressif (clothoïde) :**

$\frac{dd}{dl} = \frac{180}{Vv}$ **AN :** $\frac{dd}{dl} = \frac{180}{Vv} = \frac{180}{220} = 0.818$

$L = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}}$ **AN :** $L = \frac{158}{0.818} = 193.15 \text{ m}$

On prend $\mathbf{L_{RP} = 200 \text{ m}}$

$\frac{Dd}{Dt} = \frac{dp \times Vmax}{3.6 \times \mathbf{L}RP}$ AN : $\frac{Dd}{Dt} = \frac{158 \times 220}{3.6 \times 200} = 48.28$ mm / s ≤ 50 mm/s vérifié

$\frac{Dd}{Dl} = \frac{3.6 \times Dd}{Vmax \times \mathrm{Dt}}$ AN : $\frac{Dd}{Dl} = \frac{3.6 \times 48.28}{220} = 0.79$ mm / m ≤ 0.81 mm/s vérifié

$\frac{DI}{Dt} = \frac{I \times Vmax}{3.6 \times \mathrm{LRP}}$ AN : $\frac{DI}{Dt} = \frac{142 \times 220}{3.6 \times 200} = 43.39$ mm / s ≤ 75 mm/s vérifié

Le paramètre de clotoïde A est donnée par la formule $A = \sqrt{(R \times L)}$

$\Rightarrow$ $A = \sqrt{(1900 \times 200)} = 616.44$ m

Tableau IV.5 Les résultats de calculs pour notre axe en plan

R (m)	d_{thr} (mm)	d_{thl} (mm)	d_p (mm)	I (mm)	E (mm)	L (m)	L choisi	A (m)	Dd/Dt (mm/s)	Dd/Dl (mm/m)	DI/Dt (mm/s)
2100	271.96	56.19	150	121.96	93.81	183.33	190	631.66	48.25	0.79	39.23
3000	190.37	39.33	100	90.37	60.67	122.22	130	624.50	47.01	0.77	42.48

CALCUL D'AXE

IV.6 Introduction :

L'opération de calcul d'axe n'aura lieu, qu'après avoir déterminé le couloir par le quel passera la voie.

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe.

IV.7 Procédé de calcul :

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothotoïde (figIV.2), cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées.

Tout calcul d'axe doit suivre les étapes sui- vantes :

- Calcul de gisements,
- Calcul de l'angle γ entre les alignements,
- Calcul de l'angle τ,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la distance S_0K_{A1},
- Calcul de la corde SL,
- Vérification de non chevauchement,

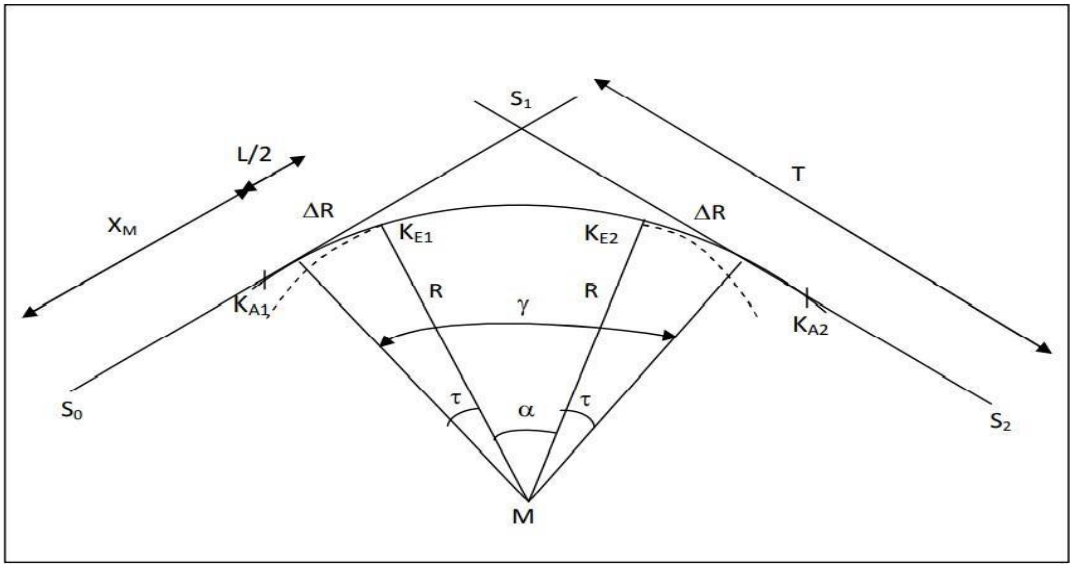


Figure IV.2 Caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements

— Calcul de la longueur de l'arc,

— Calcul des coordonnées des points singuliers.

— Calcul de l'angle polaire s,

— Calcul de α

IV.8 Exemple de calcul d'axe :

D'après le tracé en plan du présent projet, On a choisi le premier virage.

Les coordonnés des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

— R = 3000 m

— A = 624.50 m

— S_0 (609236.9915 ; 3581576.0842)

— S_1 (610679.1773 ; 3581868.4028)

— S_2 (611865.7906 ; 3580975.8185)

1. Calcul de gisement :

$$|\Delta x_0| = |x_{S1} - x_{S0}| = 1442.1858 \text{ m}$$

$$|\Delta y_0| = |y_{S1} - y_{S0}| = 292.318 \text{ m}$$

$$|\Delta x_1| = |x_{S2} - x_{S1}| = 1186.6133 \text{ m}$$

$$|\Delta y_1| = |y_{S2} - y_{S1}| = 892.584 \text{ m}$$

D'ou :

$$G_{S1}^{S0} = \tan^{-1} \frac{\Delta x_0}{\Delta y_0} = 87.269 \text{ grad}$$

$$G_{S2}^{S1} = \tan^{-1} \frac{\Delta x_1}{\Delta y_1} = 141.057 \text{ grad}$$

Alor :

$$\overline{S_0 S_1} = \sqrt{\Delta x_0^2 + \Delta y_0^2} = 1471.152723 \text{ m}$$

$$\overline{S_1 S_2} = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} = 1484.842524 \text{ m}$$

2. Calcul de l'angle gama γ :

$$\gamma = G_{S1}^{S0} - G_{S2}^{S1} = 53.788 \text{ grad}$$

3. Calcul de l'angle τ :

$\tau = \frac{L \times 200}{2R\pi}$ avec: $L = \frac{A^2}{R} = 130$ m => $\tau = 1.380$ grad

4. Calcul de la tangent T :

$T = X_m + (R + \Delta R).tg(\gamma/2)$

Avec : $X_m = \frac{L}{2} = 65$ m

$\Delta R = \frac{L^2}{24.R} = 0.235$ m

=> T = 1413.648 m

5. Calcul de la distance S_0K_{A1} :

$S_0K_{A1} = \overline{S_0S_1} - T = 57.505$ m

6. Calcuk de la corde S_L :

$S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + y_{KE}^2}$

$X_{KE} = L = 130$ m

$Y_{KE} = \frac{L^2}{6R} = 0.939$ m

=> $S_L = 130$ m

7. Vérification de non chvauchement :

$\tau \leq \gamma/2$ => $1.380 \leq 26.894$ vérifié

8. Calcul de l'angle polaire σ :

$\sigma = \arctan (Y_{KE}/X_{KE}) = 0.46$ grad

9. Calcul de α :

$\alpha = \gamma - 2.\tau = 51.028$ grad

10. Calcul de longueur de l'arc :

$B = K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R(\gamma - 2\tau)}{200} = 2403.42$ m

11. Calcul des coordonnées des points singuliers:

Le point K_{A1} :

$$X_{KA1} = X_{S1} - T.\sin G_{S1}^{S0}$$
$$= 610679.1773 - 1413.648 \sin(87.269)$$
$$= 609293.702 \text{ m}$$

$$Y_{KA1} = Y_{S1} - T.\cos G_{S1}^{S0}$$
$$= 3581868.4028 - 1413.648 \cos(87.269)$$
$$= 3581587.584 \text{ m}$$

Le point K_{A2} :

$$X_{KA2} = X_{S1} + T.\sin G_{S2}^{S1}$$
$$= 610679.1773 + 1413.648 \sin(141.057)$$
$$= 611808.8895 \text{ m}$$

$$Y_{KA2} = Y_{S1} - T.\cos G_{S2}^{S1}$$
$$= 3581868.4028 - 1413.648 \cos(141.057)$$
$$= 3582718.197 \text{ m}$$

Le point K_{E1} :

$$X_{KE1} = X_{KA1} + S_L.\sin(G_{S1}^{S0} + \sigma)$$
$$= 611808.8895 + 130 \sin(87.269 + 0.46)$$
$$= 611936.482 \text{ m}$$

$$Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L.\cos(G_{S1}^{S0} + \sigma)$$
$$= 3581587.584 + 130 \cos(87.269 + 0.46)$$
$$= 3581612.487 \text{ m}$$

Le point K_{E2} :

$$X_{KE2} = X_{KA2} - S_L.\sin(G_{S1}^{S0} + \sigma)$$
$$= 611808.8895 - 130 \sin(87.269 + 0.46)$$
$$= 611681.297 \text{ m}$$

$$Y_{KE2} = Y_{KA2} + S_L.\cos(G_{S1}^{S0} + \sigma)$$
$$= 3582718.197 + 130 \cos(87.269 + 0.46)$$
$$= 3582743.10 \text{ m}$$

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V. Profil en long

V.1 Introduction :

La construction du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là ou paraîtra l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai), ouvrage d'art, tunnel…etc.

V.2 Définition :

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

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

- **Profil en long du Projet :**

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

- **Déclivité :**

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

V.3 Eléments de composition du profil en long :

Un profil en long est constitué d'éléments de lignes droites raccordées par des arcs de cercle en cas de changement de déclivité.

V.3.1 Choix des alignements droits :

Le profil en long de la voie ferrée est caractérisé par des valeurs très faibles de déclivités pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente et confort au démarrage de véhicules en rampe. La déclivité des droites ne peut donc pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF.

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

- Eviter les terrassements inutiles.
- Equilibrer les remblais-déblais.
- Minimiser le mouvement des terres.
- Eviter d'introduire un point bas du profil en long dans une partie de déblais, qui

risque de crée des contraintes à savoir :

Celles qui sont liées aux difficultés de terrassement et à l'évacuation des eaux pluviales.

Tableau V.1 les longueurs minimales des éléments de profil en long

Valeur normale	V/2
Valeur exceptionnelle	**V/2,5**

V.3.2 Choix des cercles :

Lorsqu'un véhicule traverse un changement de déclivité, il subit une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque l'oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Cette accélération est donnée par la formule suivante : $A_V = \frac{V^2}{3.6^2 \times R_V}$

Pour une vitesse inférieure à 220 km/h la valeur maximale de cette accélération est de $0.22 m/s^2$ ($Av \leq 0.05g$) (exceptionnellement $0.31 m/s^2$) qui est une valeur de confort acceptable en remplaçant les valeurs de A_V dans la formule

$R_V = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_V}$ on trouve :

Tableau V.2 Valeurs de Rayon vertical minimale

Valeur normale	0.35 V^2
Valeur exceptionnelle	**0.25 V^2**

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

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

Remarque :

- V : est la vitesse d'un véhicule rapide en Km/h.
- La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

V.4 Application au projet :

Tableau V.3 Valeurs 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**

V.5 Conclusion :

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

CHAPITRE VI : Etude hydrologique et hydraulique

VI. Etude hydrologique et hydraulique

VI.1 Introduction :

Le présent chapitre présente un recueil d'informations sur le comportement hydrologique de la zone traversée par le projet de la ligne ferroviaire Ghardaïa – Ouargla ainsi que l'identification des contraintes majeures en terme du milieu physique pouvant influencer sur le projet et sur sa phase d'exploitation.

VI.2 Cadre climatique de la zone d'étude

Le but de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques climatiques de la zone traversée par le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – Ouargla, notamment du Pk 32+000 à Pk 46+000 qui se base sur l'analyse des paramètres climatiques, tels que la température, les précipitations et le vent, recueillis au niveau de station météorologique, à savoir la station de Ghardaïa.

VI.2.1 Pluviométrie

VI.2.1.1 Acquisition des données

Les données de précipitations de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H). Il s'agit d'observations journalières, à partir desquelles, nous avons reconstitué les valeurs de pluies mensuelles et annuelles. Il s'agit de la station suivante :

Tableau VI.1 Coordonnées de station hydro climatiques de Ghardaïa

Nom	code	X	Y	Z
Ghardaïa	130427	576176	3585062	443

VI.2.1.2 Pluies annuelles

D'après la carte pluviométrique représentée sur la figure VI.1, les valeurs des précipitations varient entre 50 et 100 mm au niveau de la wilaya de Ghardaïa.

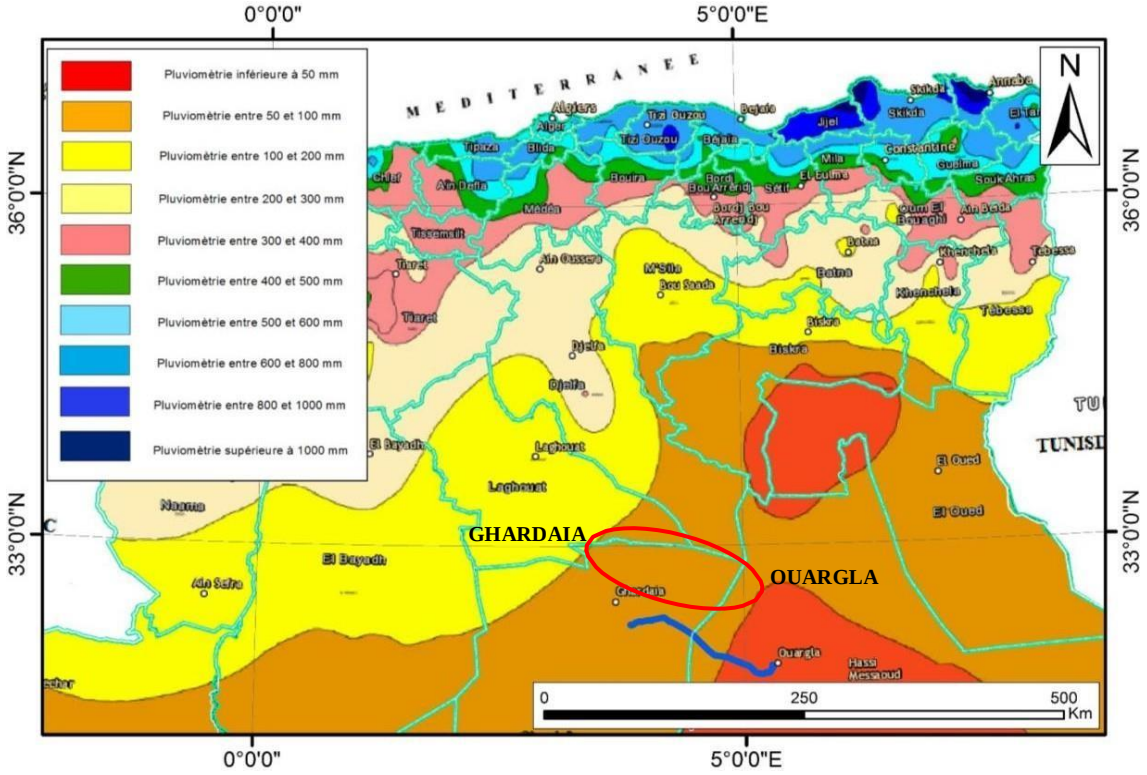


Figure VI.1 Caractérisation pluviométrique de la zone traversée par le projet de Ghardaïa – Ouargla (moyenne sur la période 1986-2005)

VI.2.1.3 Variation moyennes mensuelles des précipitations

D'après le tableauVI.2, les valeurs des moyennes mensuelles des précipitations au niveau de la station de Ghardaïa, pour la période entre 1990 et 2019 montrent que ces précipitations sont très faibles et irrégulières, caractérisant un climat aride, avec des valeurs maximales qui sont enregistrées au mois de Septembre (15.74 mm) et Janvier (10.10 mm), et une valeur minimale enregistrée au mois de juillet (inférieure à 1mm).

Tableau VI.2 Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation en mm.

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
Ghardaïa	15.74	7.14	6.03	5.52	10.10	2.62	8.83	6.46	2.60	3.50	0.89	2.22

VI.2.1.4 Pluies de courtes durées :

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. A partir des dépouillements à intensités constantes, on a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (1h, 2h, 3h, 6h, 12h

et 24h). Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné une valeur maximale par averse. Nous avons obtenu donc une série de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée. La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$\mathbf{I(t,T)} = \boldsymbol{a(T)} \times \boldsymbol{t^{-b}}$$

- **I(t,T) :** Intensité de pluie en mm/h ;
- **a et b :** paramètres de Montana
- **T :** période de retour
- **t :** le temps en heures

Tableau VI.3 Valeurs du paramètre « a » selon les fréquences

T (ans)		2	5	10	20	50	100
a(T)	Ghardaïa	10.9	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6

Tableau VI.4 Valeur du paramètre ≪b≫ selon la station

Station	b
Ghardaïa	0.82

Tableau VI.5 Valeurs des intensités obtenues en mm/h (Ghardaïa)

I(t/T)	02 Ans	05 Ans	10 Ans	20 Ans	50 Ans	100 Ans
1 h	10.9	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6
2 h	6.2	9.3	11.4	13.4	16	17.9
3 h	4.4	6.7	8.2	9.6	11.5	12.9
6 h	2.5	3.8	4.6	5.4	6.5	7.3
12 h	1.4	2.1	2.6	3.1	3.7	4.1
24 h	0.8	1.2	1.5	1.7	2.1	2.3

VI.2.2 Température

Selon le tableau, les températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Ghardaïa, décroisent à partir du mois de septembre jusqu'au mois de janvier avec une température moyenne mensuelle minimale, enregistrée au mois janvier estimée à 10.9°C. A partir du mois de février, les températures commencent à augmenter jusqu'au mois de juilletoù on enregistre les températures maximales, estimée à 33.9 °C. La température moyenne pourla période entre 1995 et 2015, au niveau de la station de Ghardaïa, est estimée à 21.9 °C.

Tableau VI.6 Température moyennes mensuelles au niveau de ghardaïa

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil	Aout	Moyenne
GHERDAIA (1995-2015)	28.7	23.2	16.3	12	10.9	13.1	16.6	20.5	25.6	30.7	33.9	33.5	**21.9**

VI.3 Etude hydrologique :

L'hydrologie est la science qui étudie l'évolution des eaux en surfaces et dans le sous-sol.

Elle traite ses propriétés physiques, mécaniques et techniques dans son ensemble. En d'autres termes, une étude hydrologique permet de connaître les caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région.

VI.3.1 Caractéristiques des bassins versants :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.
Le PK (point kilométrique) sert à repérer le passage d'un tronçon de la voie ferrée sur les cours d'eau. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.
La délimitation des bassins versants s'est effectuée sur la base des cartes d'état-major, à l'échelle de 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux, selon l'orientation des courbes de niveau. Ainsi le réseau hydrographique a été établi en digitalisant le talweg ou le cours d'eau principal. Les cartes topographiques utilisées pour la délimitation des bassins versants sont : Zelfana-ouest et Zelfana-est.
Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Autocad, les paramètres suivants ont été déterminés :

- S (Km^2) : Surface du bassin versant ;
- L (km) : Longueur du plus long cours d'eau ;
- H_{max} (m) : Altitude maximale ;
- H_{min} (m) : Altitude minimale ;
- P (m/m) : La pente ;
- T_C (h) : Le temps de concentration en heures.

VI.3.1.1 Le temps de concentration « Tc » :

C'est le temps nécessaire à la goute d'eau pour arriver à un débit maximal.

Des méthodes simplifié peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des

bassins versants :

VI.3.1.1.1 Les formules de détermination du temps de concentration :

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

1. **Superficie inférieure à 5 Km² :**

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA :

$$\mathbf{Tc = O{,}127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}}$$

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

2. **Superficie comprise entre 5 et 25 Km² :**

Le temps de concentration est calculé par la formule de PASSINI :

$$\mathbf{Tc = 0.11\ \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}}$$

- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (km);
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

3. **Superficie supérieure à 25 Km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$\mathbf{Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5\,L}{0{,}8\sqrt{Hmoy - Hmin}}}$$

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;
- Hmoy : altitude moyenne (m) ;
- Hmin : Altitude minimale (m).

➢ Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la zone (Pk 32+000 à Pk 46+000) sont mentionnées dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VI.7 les caractéristiques des bassins versants dans la zone du pk 32+000 ou pk 46+000

N°BV	PK	S(km^2)	L(km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Dh	i (m/m)	Tc (h)
1	32+438	0.071	0.269	380	375	377.5	5	0,01858736	0,24821272
2	32+489	0.082	0.273	379	374	376.5	5	0,01831502	0,26872432
3	33+058	0.182	0.567	386	370	378	16	0,02821869	0,32253062
4	33+513	0.23	0.851	383	366	374.5	17	0,0199765	0,43093122
5	33+643	0.056	0.252	370	366	368	4	0,01587302	0,23854373
6	33+711	0.024	0.219	370	366	368	4	0,01826484	0,1455799
7	33+812	0.073	0.268	372	366	368	6	0,02238806	0,22932792
8	34+344	0.181	0.466	378	374	376	4	0,00858369	0,5831845
9	34+543	0.171	0.206	374	366	370	8	0,03883495	0,26649581
10	35+065	3.41	3.082	403	357	380	46	0,01492537	1,91963346
11	35+476	0.133	0.141	362	358	360	4	0,02836879	0,27498506
12	35+855	0.079	0.358	363	357	360	6	0,01675978	0,27572945
13	36+030	0.078	0.427	361	355	358	6	0,01405152	0,29921912
14	36+300	0.151	0.515	361	352	356.5	9	0,01747573	0,37331424
15	37+070	0.182	0.639	353	351	352	2	0,00312989	0,96844474
16	37+615	0.065	0.300	351	347	349	4	0,01333333	0,28040841
17	37+909	40.533	15.021	403	344	373.5	59	0,00392783	11,04
18	38+143	0.032	0.194	355	349	352	6	0,03092784	0,12918258
19	38+244	0.026	0.162	356	352	354	4	0,02469136	0,13032205
20	38+604	0.129	0.394	355	354	354.5	1	0,00253807	0,90541292
21	38+956	0.312	0.472	353	351	352	2	0,00423729	1,08977545
22	39+370	0.107	0.346	358	352	355	6	0,01734104	0,31546998
23	39+470	0.091	0.385	357	352	354.5	5	0,01298701	0,33617838
24	39+588	0.351	0.640	372	352	362	20	0,03125	0,42563004
25	40+000	0.868	1.454	372	353	362.5	19	0,0130674	1,03506825
26	40+316	1.611	1.733	370	351	360.5	19	0,01096365	1,53947972
27	41+800	0.232	0.134	359	357	358	2	0,01492537	0,50070867
28	41+931	0.130	0.117	358	356	357	2	0,01709402	0,35022999
29	42+455	0.313	0.507	362	354	358	8	0,01577909	0,56563318

- **N°BV :** numéro du bassin versant ;
- **S :** Surface du bassin versant (Km²) ;
- **L** : Longueur du plus long cours d'eau (Km) ;

- **Hmax :** Altitude maximale (m) ;
- **Hmin :** Altitude minimale (m) ;
- **Hmoy :** Altitude moyenne (m) ;
- **I :** La pente moyenne du bassin versant (m/m) ;
- **Tc :** temps de concentration en heure.

VI.3.2 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

L'intérêt de la détermination du débit maximum d'un cours d'eau est évident en raison des effets de structures bien connus de ces événements hydrologiques.
Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'ouvrage devra être protégé. La crue max. est caractérisée par :

- Le débit Max ;
- La durée de la crue ;
- Le volume écoulé durant la crue.

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements du tracé par les écoulements superficiels, on utilise des formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants suivantes, il s'agit de :

La Formule rationnelle :

$$\boldsymbol{Q_{max} = C \times I \times S}$$

Dans laquelle :

- $\mathbf{Q_{max}}$: débit de crue de fréquence déterminée en (m^3/s);
- **C** : coefficient de ruissèlement ;
- **I** : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentrationen (mm/h) ;
- **S** : superficie du bassin versant (Km^2) ;

- **Choix du coefficient de ruissellement :**

Pour la détermination du coefficient de ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

$$\boldsymbol{C = C1 + C2 + C3}$$

- **C** : coefficient de ruissellement ;

- **C1** : dépend de la pente du cours d'eau principal. Il varie :

  - De 0.01 - 0.05 : Pente < 3.5% ;
  - De 0.06 - 0.1 : 3.5% < Pente < 11% ;
  - De 0.12 - 0.2 : 11% < Pente < 35% ;
  - De 0.22 - 0.3 : Pente > 35%.

Les valeurs des pentes ont été représentées dans le tableau des caractéristiques morphométriques des bassins versants des écoulements superficiels traversés par le tracé.

- **C2** : est un coefficient qui dépend de la perméabilité du terrain, donné à partir de l'information concernant la nature du sol et de ses caractéristiques. Les valeurs varient commesuit :

  - De 0.22 – 0.3 pour les terrains imperméables ;
  - De 0.1 – 0.2 : pour les terrains pas assez perméables ;
  - De 0.06 – 0.1 pour les terrains perméables ;
  - De 0.06 – 0.05 pour les terrains très perméables.

Ce coefficient est estimé à 0.3 pour un terrain imperméable, 0.1 pour un bassin perméable et 0.2 pour un terrain à perméabilité moyenne.

- **C3** : dépend de la couverture végétale du bassin versant, il varie :

  - De 0.22 – 0.3 pour les terrains rocheux ;
  - De 0.17 – 0.25 pour les Prairie ;
  - De 0.07 – 0.15 pour les champs labour ;
  - De 0.03 – 0.05 pour les forêts et les sols sableux

Les résultats des valeurs des débits calculés sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VI.8 Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	PK	Intencité I_{50} (mm/h)	Cr	Q_{50}(m^3/s)
1	32+438	88.40837	0.14	0,24411
2	32+489	82.83567	0.14	0,26415
3	33+058	71.32158	0.14	0,50480
4	33+513	56.23861	0.14	0,50302
5	33+643	91.33628	0.14	0,19891

6	33+711	136.93231	0.14	0,12780
7	33+812	94.33534	0.14	0,26781
8	34+344	43.88218	0.16	0,35301
9	34+543	83.40325	0.14	0,55463
10	35+065	16.52000	0.14	2,19074
11	35+476	81.28598	0.14	0,42043
12	35+855	81.10598	0.16	0,28477
13	36+030	75.84690	0.14	0,23007
14	36+300	63.26274	0.16	0,42456
15	37+070	28.95128	0.14	0,20491
16	37+615	79.99456	0.16	0,23110
17	37+909	3.93563	0.14	6,20367
18	38+143	151.02953	0.16	0,21480
19	38+244	149.94584	0.14	0,15161
20	38+604	30.59390	0.14	0,15348
21	38+956	26.28045	0.16	0,36442
22	39+370	72.62791	0.14	0,30221
23	39+470	68.93851	0.16	0,27882
24	39+588	56.81233	0.14	0,77549
25	40+000	27.41413	0.16	1,05758
26	40+316	19.79714	0.14	1,24029
27	41+800	49.72666	0.16	0,51274
28	41+931	66.66216	0.14	0,33701
29	42+455	44.99565	0.14	0,54770

VI.4 Etude Hydraulique :

Méthode de MANNING Strickler pour le dimensionnement :

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

$$Qs=V.S \quad et \quad V=Kst.J^{1/2}\,Rh^{2/3}$$

- Kst : coefficient de rugosité ;
- J : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m) ;
- Rh : rayon hydraulique= section mouillée/périmètre mouillé (Sm/Pm) ;
- S : section utile de l'ouvrage b x H (m²) ;

- b : largeur de l'ouvrage (m) ;
- H : hauteur (m).

Tableau VI.9 Les valeurs de coefficient de rugosité selon la nature de l'ouvrage

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

Dimension des ouvrages

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

- $Q_{50} < Qs$ Avec Q_{50} : débit d'apport (ou de projet).
  Qs : le débit de saturation de l'ouvrage.

- Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :
  - 1ère condition : pour $Q_{50}/Qs = Rq = 0.1$ il faut $V_{écoulement} > 0.6$ m/s.
  - 2ème condition : pour $Q_{50}/Qs = Rq = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3$ m/s.

Exemple de calcul pour la buse Ø1000

On prend l'écoulement au Pk 33+058, où on trouve un débit de 0,50480 m^3/s

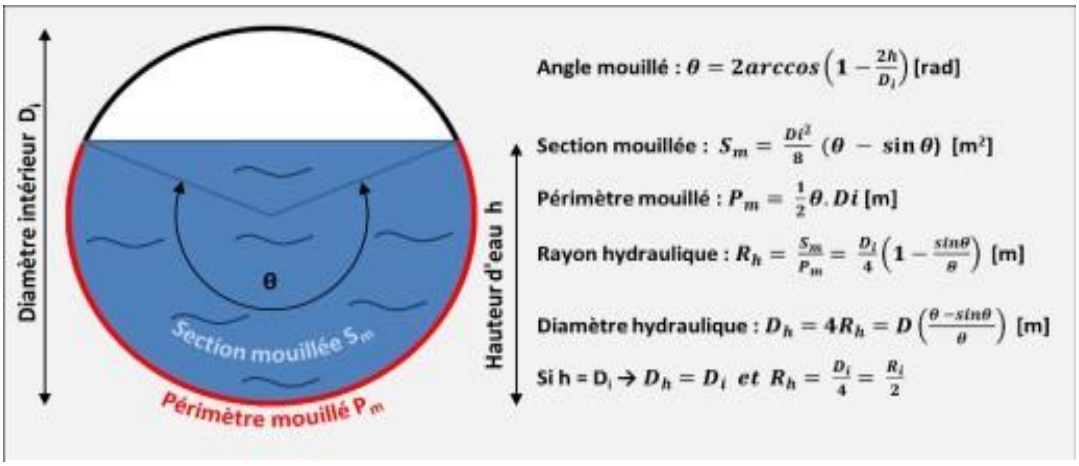


Figure VI.2 Dimensions d'une buse

- Le débit de transit déduit pour cet écoulement par la délimitation des bassins versant est de

Q50 = 0,50480 m^3/S.

- Ks = 70.
- I = 0.01 m/m.
- D = 1000 mm.

$$Q_{50} = k_s \times I^{\frac{1}{2}} \times \frac{\left[\frac{D^2(\theta - \sin\theta)}{8}\right]^{\frac{5}{3}}}{\left[\frac{1}{2}\theta \times D\right]^{\frac{2}{3}}} = 70 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times \frac{\left[\frac{1^2(\theta - \sin\theta)}{8}\right]^{\frac{5}{3}}}{\left[\frac{1}{2}\theta \times 1\right]^{\frac{2}{3}}} = 0{,}50480 \text{ m}^3/\text{S}$$

Avec :

- θ = 2 arccos (1 - 2h /D) (rad),
- h : la hauteur de remplissage (m).

Par la méthode des itérations on doit trouver la hauteur de remplissage h, qui nous donne l'égalité entre le débit calculé par la formule de MANNING-STRICKLER et le débit de transit.Dans ce cas on a trouvé h=0,328m qui satisfait l'égalité.

Dimensionnement d'un dalot pk 37+858

$$Q_{50} = k_s \times I^{\frac{1}{2}} \times \frac{[b \times h]^{\frac{5}{3}}}{[b + 2h]^{\frac{2}{3}}} = 70 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times \frac{[3 \times h]^{\frac{5}{3}}}{[3 + 2h]^{\frac{2}{3}}}$$

Pour le dalot on suppose la hauteur totale du dalot h et la base b, et par la méthode des itérations on cherche la hauteur de remplissage h qui satisfait l'égalité entre le débit calculer par la formule de MANNING-STRICKLER et le débit de transit Q_{50}.

Dans le cas suivant on a dimensionné un dalot de trois cellules 10x3x1 m, avec une hauteur de remplissage h= 0.080m.

Tableau VI.10 Résultats de dimensions des ouvrages de drainage avec Ks = 70 et I = 1%

N° BV	Pk	Q_{50} m^3/s	Ouvrage calculé	h (m)	Sm (m^2)	**Pm (m)**	**Qps (m^3/s)**	**Vm (m/s)**	**Verification V < 4 m/s**
1	32+438	0,24411	**Ø1000**	0.226	0.1331	0.991	2.181	1.834	verifié
2	32+489	0,26415	**Ø1000**	0.235	0.140	1.012	2.181	1.872	verifié
3	33+058	0,50480	**Ø1000**	0.328	0.224	1.2195	2.181	2.394	verifié

4	33+513	0,50302	**Ø1000**	0.325	0.221	1.213	2.181	2.249	verifié
5	33+643	0,19891	**Ø1000**	0.204	0.115	0.9373	2.181	1.7284	verifié
6	33+711	0,12780	**Ø800**	0.220	0.1123	0.7976	1.203	1.5923	verifié
7	33+812	0,26781	**Ø1000**	0.236	0.1415	1.0145	2.181	1.8826	verifié
8	34+344	0,35301	**Ø1000**	0.272	0.172	1.097	2.181	2.035	verifié
9	34+543	0,55463	**Ø1000**	0.344	0.2392	1.253	2.181	2.320	verifié
10	35+065	2,19074	**Ø1500**	0.411	0.393	1.6527	6.429	2.687	verifié
11	35+476	0,42043	**Ø1000**	0.298	0.1962	1.1549	2.181	2.1469	verifié
12	35+855	0,28477	**Ø1000**	0.244	0.1482	1.033	2.181	1.9183	verifié
13	36+030	0,23007	**Ø1000**	0.219	0.1279	0.9735	2.181	1.8034	verifié
14	36+300	0,42456	**Ø1000**	0.299	0.1972	1.157	2.181	2.1580	verifié
15	37+070	0,20491	**Ø1000**	0.208	0.1182	0.947	2.181	1.7482	verifié
16	37+615	0,23110	**Ø1000**	0.220	0.1281	0.9765	2.181	1.8071	verifié
17	37+858	6,20367	dalot 10×3×1	0.080	2.4	31.6	149.39	1.255	verifié
18	38+143	0,21480	**Ø1000**	0.212	0.1212	0.9765	2.181	1.8072	verifié
19	38+244	0,15161	**Ø800**	0.240	0.1268	0.8606	1.203	1.5923	verifié
20	38+604	0,15348	**Ø800**	0.242	0.1283	0.8667	1.203	1.5981	verifié
21	38+956	0,36442	**Ø1000**	0.277	0.1773	1.1085	2.181	2.029	verifié
22	39+370	0,30221	**Ø1000**	0.252	0.1553	1.0518	2.181	1.9555	verifié
23	39+470	0,27882	**Ø1000**	0.241	0.1458	1.0262	2.181	1.9059	verifié
24	39+588	0,77549	**Ø1000**	0.412	0.3051	1.3938	2.181	2.5424	verifié
25	40+000	1,05758	**Ø1000**	0.491	0.3837	1.5528	2.181	2.756	verifié
26	40+316	1,24029	**Ø1000**	0.540	0.4326	1.6510	2.181	2.8663	verifié
27	41+800	0,51274	**Ø1000**	0.330	0.2260	1.2235	2.181	2.2704	verifié
28	41+931	0,33701	**Ø1000**	0.266	0.1010	0.8925	2.181	1.6377	verifié
29	42+455	0,54770	**Ø1000**	0.341	0.2363	1.247	2.181	2.687	verifié

Commentaire :

On peut pas réalisé des ouvrages dans les zones de déblais, donc on va évacuer tous les cours d'eau par des descentes d'eau vers les exutoires.(plan type d'un descente d'eau)

Vérification des conditions d'autocurage pour chaque ouvrage :

Exemple de calcul pour la buse Ø1000

- $V_{PS} = 70 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times (\frac{0.785}{3.14})^{\frac{2}{3}} = 2.778$ m/s < 4 m/s
- Pour Q = 0.1 Qps on a V = 0.62 Vps = 1.722 m/s $>$ 0.6 m/s. vérifie.
- Pour Q = 0.01 Qps on a V = 0.32 Vps = 0.889 m/s $>$ 0.3 m/s. vérifie

Tableau VI.11 les conditions d'auto curage de chaque ouvrage employé

Ouvrage	S_{PS} m^2	P_{PS} m	R_H m	KS	I	Q_{PS} m^3/s	V_{PS} m/s	V>0.6 m/s	V>0.3 m/s
Buse Ø1000	0.785	3.14	0.25	70	0.01	2.181	2.778	2.257	1.132
Buse Ø1500	1.766	4.710	0.375	70	0.01	6.428	3.640	1.32	0.664
BUSE Ø800	0.502	2.513	0.2	70	0.01	1.202	2.394	1.484	0.766
dalot	3	5	0.6	70	0.005	10.56	3.52	2.253	1.126

VI.5 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

Les ouvrages d'assainissement longitudinal récupèrent les eaux de ruissellement venant de la plateforme et les talus ainsi que les eaux interne (eaux infiltrées dans les structures d'assise ou nappe phréatique) afin de garantir la durabilité de la structure.

Ce réseau s'appuie sur des ouvrages techniques permettant la collecte ainsi que la circulation et l'évacuation des eaux de ruissellement d'une part et d'autre de la plateforme ferroviaire.

Ainsi, il est prévu d'adopter des fossés trapézoïdaux :

- Au pied des talus de la plateforme ferroviaire en déblai,
- En tête des talus de déblais ainsi qu'en remblais si l'eau peut éroder le talus,

- En tête des murs de soutènement en déblai.

VI.5.1 Dimensionnement des fossés :

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

$$Qs = Ks.\ \mathbf{R_h^{2/3}}.\ Sm.\ \mathbf{I^{1/2}}$$

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
- I : pente longitudinale de fossé
- z : la pente des berges.

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 75 (correspondant à des fossés consolidés, revêtementen béton grossier).
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en longde la voie.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 3/2.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits : La plate-forme, les bermes et les talus : Qa=Qpf+Qb+Qt.
- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant **la méthode rationnelle** :

$$\mathbf{Q_A} = \frac{\boldsymbol{C.I.A}}{\mathbf{3.6}}$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/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 (km²).

Application de notre projet :

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 10 ans

(a = 20.1 , b = 0.82)

- **Exemple de calcul des débits** : on a choisi le cas le plus défavorable du pk 34+175 au pk 34+700 sur une longueur L = 525 m dans une zone de déblais

➢ Pour le calcul de la surface du bassin versant A :

❖ Pour la plate-forme : **A = 6.8 × L**

$$A = 6.8 \times 525 = 3570\ m^2 = 0.00357\ km^2$$

❖ Pour les Talus : **A = ∑li × di**

Tableau VI.12 Calcul de la surface du bassin versant pour les talus

Pk	H_{moy} (m)	Distance d_i (m)	Longueur l_i (m)	A_i (m^2) = d×l
34+185 → 34+216	1.3502	31	1.423	44.113
34+216 → 34+246	3.405	30	3.589	107.670
34+246 → 34+324	5.734	78	6.044	471.432
34+324 → 34+397	2.806	73	2.958	215.934
34+397 → 34+647	1.205	250	1.270	317.500
34+647 → 34+700	0.558	53	0.588	31.164
				$A = \sum li \times di = 1187.813\ m^2$

Donc $A = 1187.813\ m^2 = 0.001188\ km^2$

➢ Le temps de concentration **Tc** : on a une Superficie inférieure à 5 Km² donc on utilise la formulede VENTURA $Tc = 0{,}127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}$

❖ Pour la plate-forme : $Tc = 0{,}127 \times \sqrt{\frac{0.00357}{0.04}} = 0.038\ h$

❖ Pour les Talus : $Tc = 0{,}127 \times \sqrt{\frac{0.001188}{3}} = 0.0025\ h$

➢ Intensité de la pluie **I** de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration : $I(t,T) = a(T) \times t^{-b}$

- Pour la plate-forme : $I(t,T) = 20.1 \times 0.038^{-0.82} = 293.612$ mm/h
- Pour les Talus : $I(t,T) = 20.1 \times 0.0025^{-0.82} = 2734.546$ mm/h

➢ Calcul des débits par la méthode rationnelle : $Qpf = \frac{C.I.A}{3.6}$

- Pour la plate-forme : $Qpf = \frac{0.9 \times 293.612 \times 0.00357}{3.6} = 0.262$ m^3/s
- Pour les Talus : $Q_T = \frac{0.7 \times 2734.546 \times 0.001188}{3.6} = 0.632$ m^3/s

Tableau VI.13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de déblai

		CAS DEBLAI
		Le cas plus défavorable : **Longueur= 525 m** **H_{talus}= 6 m** **Berme = 0 m** **Largeur de la plateforme= 6.8 m**
Plateforme	**Cr**	0.9
	P(m/m)	0.04
	A(Km^2)	0.00357
	Tc(h)	0.038
	I (mm/h)	293.612
	Qpf (m^3/s)	**0.262**
Talus	**Cr**	0.7
	P(m/m)	2/3
	A(Km^2)	0.002045
	Tc(h)	0.007034
	I (mm/h)	1170.820
	QT (m^3/s)	**0.632**
Q_a (m^3/s) (totale)		**Qpf + QB + QT = 0.894**

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plateforme, lesbermes et les talus : Qa= Qpf + Qb + Qt.

Tableau VI.14 Dimensionnement du fossé proposé

B	H	z	$S_m(m^2)$	$P_m(m)$	R_h	K_s	I(m/m)	Qs (m_3/s)
0.5	0.5	1.5	0.625	2.3	0.27	75	0.007	1.638

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

$$Qa < Qs$$

En conclusion, les types des fossés est de (b **= 0.5 m** , **h = 0.5 m** , **pente = 3/2** (H/V).

CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII. Etude géologique et géotechnique

VII.1 Introduction :

Une fois que l'ingénieur a sélectionné le tracé du couloir le long de la voie ferrée, il est chargé d'effectuer une étude approfondie de la géologie locale afin de prévenir tout risque naturel, y compris les problèmes d'instabilité tels que les glissements de terrain, les affaissementset les effondrements.

Ensuite, nous compléterons l'étude géologique par une étude géotechnique, afin d'interpréter les mouvements gravitationnels pour garantir la stabilité et la durabilité à long terme.

VII.2 L'étude géologique

VII.2.1 Introduction :

Une analyse géologique approfondie revêt une importance primordiale pour la qualité d'un projet et la durabilité future de la plateforme. Il est donc essentiel d'effectuer un inventaire complet des problèmes géologiques présents dans la zone sélectionnée, afin que le tracé évite autant que possible les difficultés de cette nature.

VII.2.2 Géologie de la plate-forme saharienne :



Figure VII.1 La plate-forme saharienne septentrionale qui forme la majorité du tracé

La plate-forme saharienne est constituée d'une vaste couche de roches sédimentaires du Secondaire et du Tertiaire, reposant de manière subhorizontale sur un socle primaire fortement plissé et érodé lors de l'orogenèse hercynienne. Ces couches remplissent un vaste bassin synclinal qui forme le bassin du bas-Sahara, également appelé bassin du Châamba selon Conrad (1948). Le centre de cette cuvette est occupé par les dunes du Grand Erg

oriental. En revanche, le Grand Erg occidental recouvre en grande partie les bordures occidentales, et sous ces dunes de sable, le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal dont l'axe se situ approximativement le long de la dorsale du M'zab. Cette zone est connue sous le nom de Haut-Sahara (J. Flandrin, 1957). La plate-forme saharienne s'étend du massif cristallophyllien du Hoggar au sud jusqu'au piémont méridional de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien au nord. Les deux domaines, saharien et atlasique, sont clairement séparés par une importante structure tectonique complexe appelée flexure sud atlasique.

Mise à part les affleurements localisés sur le plateau de Tademait et de Tinrhert au sud, et le versant occidental de la dorsale du M'zab, le bassin du bas-Sahara à géologie assez simple, sestraits géologiques en détail ne sont connus que grace aux sondages profonds de recherche et deprospection des hydrocarbures.

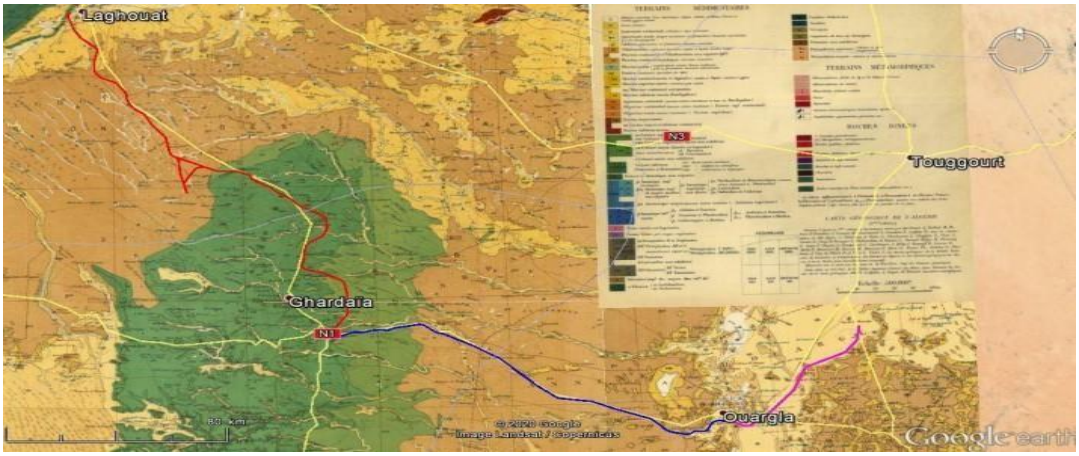


Figure VII.2 Carte géologique de la plate-forme saharienne septentrional (Extrait de la carte géologique de l'algérie 1/500000)

VII.2.3 Géomorphologie de la région :

Le tracé traverse essentiellement du pliocène continental avec quelques affleurements de dépôts gréseux du Mio-pliocène (fig VII.3), cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux résultant de la déflation.

Le pliocène continentale ou « Croute calcaire saharienne », forme une auréole entourant la dorsale du M'Zab, il est constitué par l'agglomération d'éléments rocheux (poudingue, galets de calcaires lacustres, sables) au sein d'un ciment carbonaté. L'origine de cette croute saharienne est liée essentiellement à l'action d'agents atmosphériques et à des réactions physico-chimiques sur les sédiments.

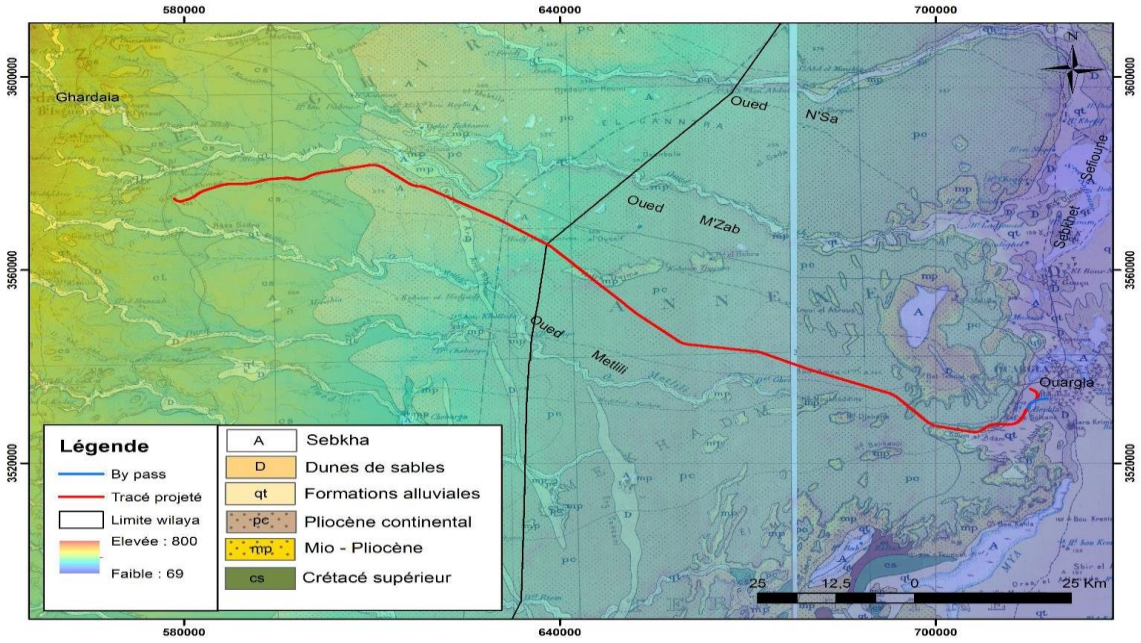


Figure VII.3 Différents ensembles géomorphologiques de la zone d'étude

VII.3 Etude géotechnique :

VII.3.1 Introduction :

La géotechnique est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de sol.

VII.3.2 Programme d'investigation géotechnique :

Après analyse du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons notre plan d'investigation géotechnique le long de la ligne ferroviaire Ghardaïa-Ouargla dont les objectifs sont :

Lot Tracé :

La connaissance du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques pour chaque déblai et remblai, est une étape primordiale dans le choix d'une structure d'assise. Donc il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques en place afin de :

- Calculer la portance du sol support pour dimensionner la couche d'assise.
- Estimer la possibilité de l'utilisation du sol en remblai ou en couche de forme.

Lot Ouvrage :

Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction d'ouvrage et notamment la définition de la fondation.

VII.3.2.1 Lot Tracé :

VII.3.2.1.1 Reconnaissance de portance de la plate-forme :

- **Puits de reconnaissance**
- **Sondage carotté**
- **Essais au laboratoire :**

Pour les échantillons prélevés on prévoit la réalisation des essais suivants :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS),
- Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates) ,
- Essais mécaniques (Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai œdométriques).

Tableau VII.1 Programme d'investigation de Lot tracé (Puits de reconnaissance)

Localisation	Type d'ouvrage en terre	Hauteur du remblais/déblais	Essai géotechnique Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
33+000	Remblais	2.3 m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche.	3 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne
43+100	Déblai	1.1 m	01 puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	3 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne

Tableau VII.2 Programme d'investigation de Lot tracé (sondage carotté)

Localisation	Type d'ouvrage en terre	Hauteur du remblais/déblais	Essai géotechnique Essais in situ	Prof	Essais au laboratoire
34+300	Déblai	6 m	Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intacts.	15 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne
38+000	Remblais	3.4 m	Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intacts.	18 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne
40+500	Remblais	5.8 m	Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intacts.	12 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne
45+000	Remblai	0.8 m	Sondage carotté avec prélèvement des échantillons intact.	10 m	- Essais d'identification - CBR - Analyses chimiques - Essais œdométriques - Essais cisaillement rectiligne.

VII.3.2.2 Lot Ouvrage :

Afin de fournir les données nécessaires pour construite les futur ouvrage d'art, un programme géotechnique sera établi et donné dans le tableau au-dessous, pour cela on prévoit la réalisation desessais suivants :

- **Essais In situ :**
  - Essai au pénétromètre dynamique (pdl) .

- **Essais de laboratoire :**

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur eneau naturelle, densité spécifique, essai d bleu VBS) ;
- Analyses chimiques (Sulfates, Carbonates) ;
- Essais mécaniques (, Proctor modifié, Cisaillement rectiligne et l'essai oedométriques).

Tableau VII.3 Programme d'investigation de Lot ouvrage

Localisation	Type d'ouvrage	Essais in situ	Prof
38+945	Passage supérieur (pont routier) à une seule travée de 20 m	Pénétromètre dynamique (pdl)	2.4 m

VII.3.3 Campagne De Reconnaissance Géotechnique :

Dans cette partie sont énumérés les différents travaux réalisés dans la campagne géotechnique et les essais de laboratoire proposés :

- Reconnaissance de surface.
- Puits de reconnaissance.
- Essais de pénétration dynamique (pdl)
- Sondages carotté .
- Essais de laboratoire sur les échantillons originaires des puits et des sondages.

Les travaux de reconnaissance géotechnique (sondages, pénétromètres dynamiques et puits de reconnaissance) et les essais de laboratoire dans des échantillons extraits des sondages et des puits de reconnaissance, ont été effectués par un laboratoire géotechnique.

Les travaux de reconnaissance réalisés, abrégés comme suit :

- Puis de reconnaissance (PR) ;
- Sondage carotté.
- Pénétromètre dynamique (PDL) .

VII.3.3.1 Essai in situ :

- Puits de reconnaissance

Dans la section étudiée on a 2 puits (PR) exécutée à des profondeurs varient entre 0 et 3 m

Puits n°	PK	Profondeur (m)	Lithologie
Pt 1	33+000	0.00-0.20	Sable fin limoneux.
		0.20-1.00	encroutement calcaire brunâtre gravelo, caillouteux contenant des poches gypseuses devenant très compact en profondeur.
		> 1.00	Calcaire grisâtre dur.
Pt 2	43+100	0.00 – 0.20	Sable fin peu graveleux.
		0.20 – 0.70	calcaire grisâtre intercalé par des passages meubles à savoir encroutement calcaire.
		0.70 – 2.10	encroutement calcaire blanchâtre contenant des poches gypseuses.
		> 2.10	calcaire grisâtre dur.

- **Sondage carotté :**

Puits n°	PK	Profondeur (m)	Lithologie
F 1	34+300	0 - 2	encroutement calcaire graveleux caillouteux brunâtre intercalé par des passages rocheux
		2 - 15	calcaire dur grisâtre affecté par la dissolution par endroit.
F 2	38+000	0 - 7.5	sable fin à grossier brunâtre graveleux caillouteux contenant des blocs rocheux.
		7.5 - 13.5	argile à argile calcaire versicolore consolidé, faible par endroit
		13.5 - 18	calcaire grisâtre très fracturée affectée par la dissolution à remplissage de gypse.
F 3	40+500	0.00 – 0.25	sable fin brunâtre
		0.25 – 5	encroutement calcaire brunâtre très gravelo caillouteux, intercalé par des passages rocheux conglomératiques
		5 – 7	grés à ciment calcaire très friable.
		7 – 12	calcaire conglomératiques grisâtre fracturée devenant sain en profondeur.
		0.00 – 0.15	sable fin à grossier brunâtre.

F 4	**45+000**	0.15 – 5.75	calcaire grisâtre très fracturé affecté par la dissolution intercalée par des passages meubles à savoir un encroutement calcaire.
		5.75 – 10	calcaire fracturé à dur de couleur grisâtre affecté par la dissolution.

- **Essai de pénétration dynamique (PDL) :**

L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol un train de tiges à l'extrémité duquel est placée une pointe conique de 20.0 cm².

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

Dans notre tronçon on a fait deux essais de pénétration dynamique comme illustré dans les tableaux suivants :

Tableau VII.4 Résultats de l'essai PDL 09 au pk 33+000 (profondeur de 2.3 m)

Profondeur (m)	Nombre des coups	Qd(daN/cm^2)
0.00	0	0
0.20	4	34.4
0.40	12	103.2
0.60	23	197.8
0.80	35	280.7
1.00	48	384.96
1.20	55	411.1

Tableau VII.5 Résultats de l'essai PDL 10 au pk 38+945 (profondeur de 2.3 m)

Profondeur (m)	Nombre des coups	Qd(daN/cm^2)
0.00	0	0
0.20	10	86
0.40	25	215
0.60	30	258
0.80	38	304.76
1.00	35	280.76
1.20	29	232.58
1.4	28	224.56
1.6	30	240.6

1.8	38	285
2.00	38	285
2.20	42	315
2.40	55	412.5

VII.3.3.2 Analyse du laboratoire :

Tous les échantillons prélevés à partir des puits de reconnaissance réalisés ont fait l'objet des analyses en laboratoire conformément aux normes en vigueur, données dans le tableau ci- dessous, ainsi le programme d'essai en laboratoire a consisté à l'exécution des essais suivants :

- Essais d'identification (Granulométrie, Sédimentométrie, Limites d'Atterberg, teneur eneau naturelle, Le poids spécifique **γd,** ;
- Essais de propreté **(**Equivalent de sable, Essai au Bleu Méthylène VBS)
- Essais mécaniques (Des essais Proctor modifié. Dés essais CBR imbibé).
- Analyses chimiques (Matière organique, Sulfates SO4 -2 et Carbonates Caco3) ;

VII.3.3.2.1 Essai d'Identification :

1. Analyse granulométrique
2. Teneur en eau
3. Limites d'Atterberg
4. Essais de propreté
5. Essai au Bleu Méthylène VBS

Tableau VII.6 Tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification et de propreté des sols et leur classification GTR

Puit (n^0)	Analyse granulometrique			Wn	Limites D'atterberg			Vbs	Proctor modifié		Classification	
	$< 2mm$	$< 80\mu m$	$< 2\mu m$	%	Wl	Wc	Ip	%	Y_d	W_{opt}	GTR	UIC
	%	%	%		%	%	-		(t/m^3)	%		
Pt 1	45	13	-	0.76	20.13	NM	NM	0.34	1.97	08.70	**R23**	**QS2**
Pt 2	61	31	-	05.36	41.51	26.70	14.81	0.21	1.85	12.30	**R23**	**QS2**

Interprétation des résultats : (Voir les descriptions et les tableaux dans L' ANNEXE)

CHAPITRE VIII : ASSISE FERROVIAIRE

VIII. VIII. Assise ferroviaire

VIII.1 Introduction :

Par définition, la couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast). Leur rôle principal est :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant du contact rails-roue.
- La répartition des charges provenant des traverses d'une manière presque uniforme sur la plate-forme.
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.
- Contribuent à assurer par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée des points de vue, tenue de nivellement et drainage.

VIII.2 Le ballast :

Le Ballast est un élément support majeur de la voie ferrée ballastée. C'est un matériau granulaire (d/D = 31.5/63 mm) provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, diorite, quartzite…), de forme polyédrique à arêtes vives, a une grande valeur d'angle de frottement interne (Ɵ élevée) et une faible cohésion (C=0).

VIII.2.1 Rôle du ballast :

Le ballast forment une couche épaisse qui ropend aux exigences suivantes :

- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle.
- Jeux le rôle d'un amortisseur de vibration très efficaces grâce à sa propriété rhéologique (dissipation de l'énergie de vibration par attrition et contact des éléments).

VIII.3 Sous couche :

C'est une couche intermédiaire 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 graduée (0/31.5) puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sol et enfin, s'il y a lieu

une coucheanti contaminatrice complété par des feuilles de géotextile de séparation.

VIII.3.1 Rôle de la sous couche :

La sous couche a les fonctions suivantes :

- Protection des plateformes contre les effets du gel
- Meilleure répartition des charges transmises, permettant d'obtenir au niveau de la partie supérieure de la plateforme des sollicitations de valeurs admissibles, à l'égard de l'indice de portance du sol.
- Amélioration de la portance du sol.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Anticontamination entre la plate-forme et la couche de ballast.

La sous-couche ayant une pente transversalement en toit (4% de chaque coté), vers des dispositifs d'assainissement longitudinaux.

VIII.4 La plate-forme :

VIII.4.1 Définition :

La plate-forme est le sol support de de la superstructure de la voie ferrée (couche d'assise). Elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. Les fonctions de la plate-forme :

- La réparation des charges reçues par la superstructure
- L'évacuation des eaux pluviales vers L'assainissement.
- Rabattement des eaux souterraines.
- L'amortissement des vibrations résultant de la circulation des véhicules.
- La plate-forme ayant une pente transversalement en toit (3% à 5% de chaque côté).

VIII.4.2 Classification des sols pour la plateforme :

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

Selon la fiche UIC 719R, la classe de qualité du sol de la plateforme, la classe prépondérante dans cette zone est de **classe QS2**.

VIII.4.3 La classe de portance de la plate-forme :

Les paramètres qui permettent de définir les types de plate-forme sont le type et l'état hydrique des sols constituants du couronnement des remblais ou des sols in "situ" au niveau de la fondation de la plate-forme en excavation (qui définissent selon le code UIC 719R les classesde qualité des sols) et leur épaisseur.

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

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

Les classes de plateforme sont représentées en fonction de classe de qualité du sol support dans le tableau suivant :

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

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagé pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualitée	Epaisseur minimal(m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

La 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 en majorité **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS3).

Les résultats des travaux du terrain et les résultats montrent que si on vise une bonne plateforme, c'est-à-dire de classe **P3,** on a besoin d'une couche de forme.

Couche de forme :

Concernant le besoin d'obtention d'une plate-forme de qualité de support du type **P3**, sur les matériaux **QS2** on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur de **35 cm.**

VIII.5 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

Le dimensionnement de cette épaisseur est fait à partir de la formulation qui est indiquée dans le code UIC 719R (expression suivante), en fonction des paramètres adéquats au tronçon qui est en train d'être étudié.

L'épaisseur de la couche d'assise (e = épaisseur du ballast + épaisseur du sous couche) estdonnée par la formule suivante :

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

Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur e (Voir Annexe F)

VIII.6 Application au projet :

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

Tableau VIII.2 Dimensionnement de la couche d'assise

Paramètre	Epaisseur (m)	Description
Ballast (m)	**0.30**	
Traverses L	**2.41**	
E	0,45	**Pour une plateforme P3**
a	0.00	**Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2**
b	0.05	**Traverses**
c	0,00	**Pour voie nouvelle**
d	0,05	**Pour une charge de 22 ,5 tonne/essieu**
f	0,00	**Pour une ligne de grande vitesse et une plate-forme de portance P3.**
g	**0**	**Sans géotextil en sol QS3**
Epaisseur de e (m)	**0.55**	

Tableau VIII.3 structure de la voie

COUCHE	Epaisseur (m)
Ballast	0.30
Sous-ballast	0.25
Couche de forme	0.35

VIII.7 Conclusion :

Le dimensionnement nous a permis de définir les épaisseurs des différentescouches devant être présentes pour supporter et diffuser la charge transmise par le matériel roulant.

Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algérie.

CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

IX. Profil en Travers

IX.1 Introduction :

Une fois le tracé en plan et le profil en long sont établis, la structure d'assise et le réseau d'assainissement sont dimensionnés, on procède au développement du profil en travers qui est la conclusion de la géométrie. Il permet de déterminer la section type projetée pour le couloir ainsi que les volumes des déblais et des remblais.

IX.2 Profil en travers type :

Le profile en travers est la coupe transversale perpendiculaire à l'axe de la voie sur un plan vertical. Il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure, de l'assainissement ferroviaire, la géométrie de la voie, les systèmes de protection contre l'ensablement et les systèmes de stabilisation des talus.

Il peut y avoir plusieurs profils types sur un seul tronçon selon la classe de la plate-forme supportant la structure ou selon le cas de terrassement (déblais, remblais).

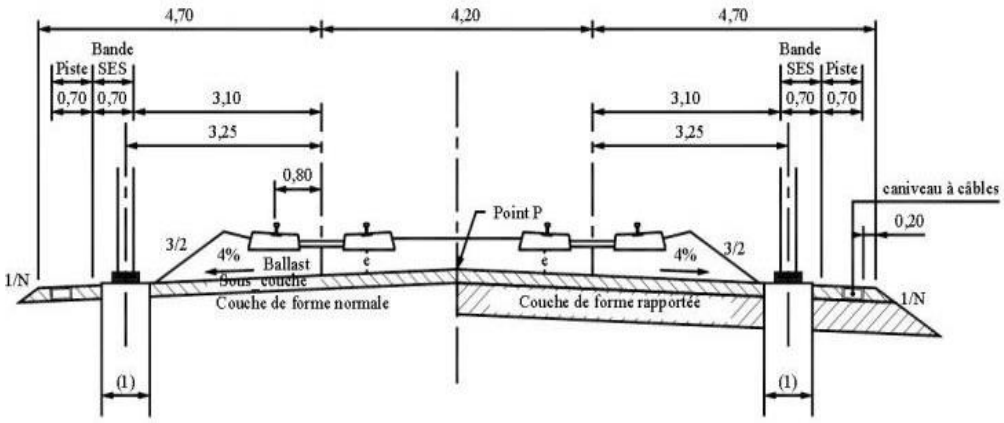


Figure IX.1 Schéma en coupe d'une plateforme type

IX.2.1 Les éléments du profil en travers

Dans une voie ferrée, un profil en travers type doit schématiser tous les éléments ci-dessous :

Tableau IX.1 Les éléments du profil en travers

Elément de superstructure	• Le type de rail utilisé. • La valeur de l'écartement de la voie. • La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie. • Le type de traverse utilisé. • La valeur de devers en courbe (maximum). • L'épaisseur de la couche de ballast.
Elément d'infrastructure	• Les épaisseurs et la nomination des chaque couches. • Les pentes transversales de chaque couche. • La pente latérale de la plate-forme.
Elément de 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 drains.

IX.2.2 Les profils en travers de notre projet

- Type de ligne : Voie unique mixte électrifiée.
- type de rail : UIC-60.
- type de traveres : monobloc avec en écartement de la voie de 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%
- Largeurs de la berme : 0 m.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3H/2V.
- Pente latérale de la couche de sous-ballast : 2H/1V
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 25cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- Pente (déblais : 1H /3V et remblai : 3H / 2V).
- hauteur max de (déblais : 6m) et (remblais : 8m).
- Fossé trapézoïdale en béton armé de 2.6 de largeur.

CHAPITRE X : TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

X. Terrassement et ouvrage

X.1 Les Terrassements :

X.1.1 Introduction

Lorsqu'on entreprend la construction d'un projet ferroviaire, il est crucial d'ajuster la topographie pour qu'elle corresponde à nos besoins. Cela nécessite souvent une quantité importante de travaux de déblaiement et de remblaiement afin de préparer le terrain pour la construction. Ces travaux sont communément appelés terrassements.

- **Le remblai :** C'est une technique de construction qui consiste à ajouter des matériaux bien définis pour compenser les différences de niveaux.
- **Le déblai :** C'est une technique de construction qui consiste à enlever des terres initialement en place.

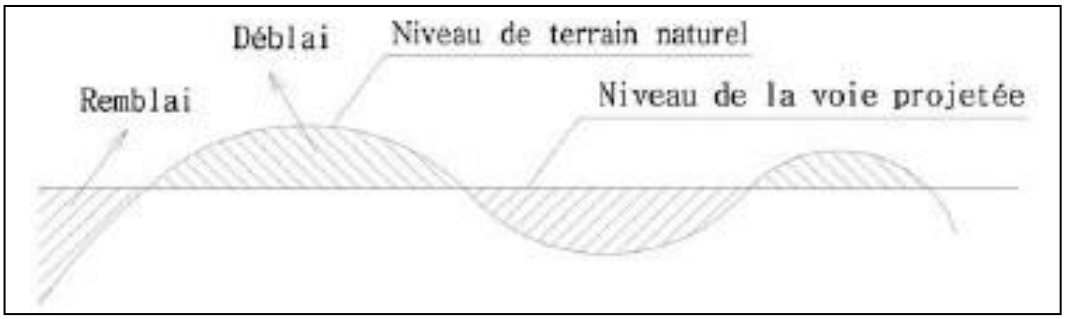


Figure X.1 Les zones des déblais et des remblais

Lorsque les travaux de terrassement dépassent une certaine hauteur limite, cela peut entrainer un risque de rupture, qui se manifeste sous forme de glissement de talus. En effet, un talus est une pente abrupte créée lors de travaux de terrassement, tels que ceux effectués lors de la construction d'une voie ferrée. Cependant, si cette pente devient trop raide en raison d'un déblai ou d'un remblai excessif, elle peut se détacher et glisser, provoquant des dommages matériels et des risques pour la stabilité de l'ouvrage.

X.1.2 Pente de talus :

Les pentes de talus principalement utilisées selon le référentiel technique de SNTF chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE », et exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H), sont :

- En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, **3/1**.

- En remblai : 3/2, 2/1, **2/3**.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité générale de l'ouvrage, en fonction :

- Caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais.
- La hauteur de l'ouvrage.
- La topographie de site et des risques naturels.

X.1.3 Calcul de la stabilité de talus :

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 $\geq$ 1.0 situation accidentel (séisme).

Après l'affectation de profil en long et profil en travers du tronçon étudié, on a localisé les différentes zones de remblais et déblais caractérisées par des hauteurs pouvant être importantes qui sont sujets de cette action et pour cela la vérification de stabilité des talus en déblais et remblais on a utilisé le logiciel « geo 5 », et on a choisi la méthode de Bishop simplifie pour les ruptures circulaires.

X.1.4 Vérification de la stabilité des Talus :

- **Cas déblai :**

Ce calcul de stabilité concerne les grands déblais avec des hauteurs importantes (h $\geq$ 6 m), dans notre cas en prend en considération que le de déblai de Pk 34+180 au Pk 34+710.

Dans les graphiques suivants on peut observer les résultats de calcul de stabilité effectué :

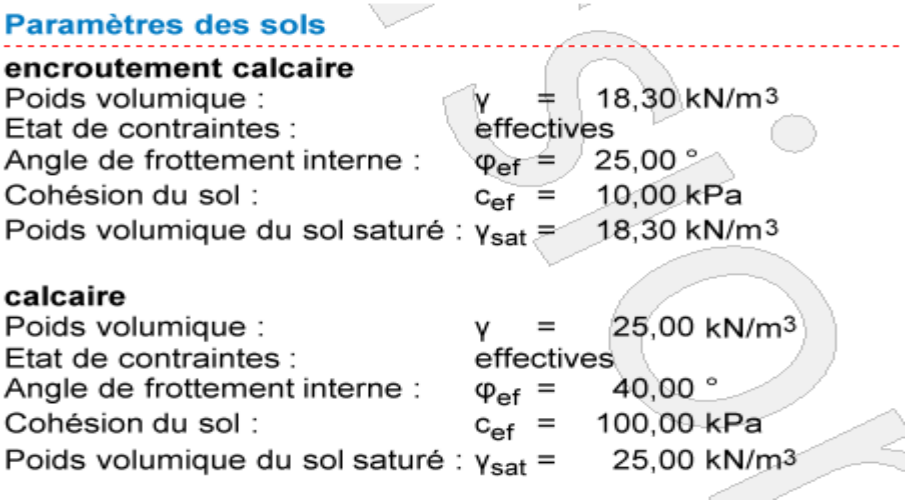


Figure X.2 Les matériaux de déblai et ces paramètres

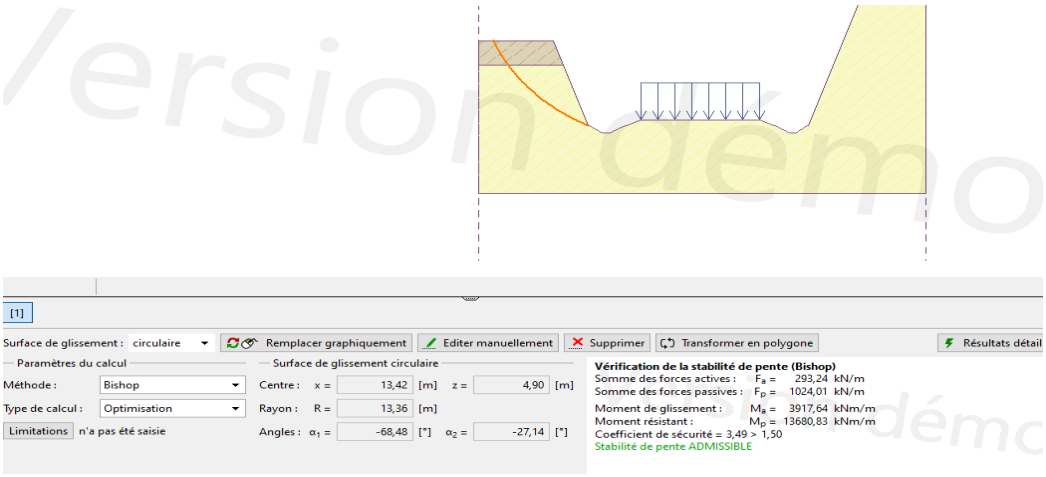


Figure X.3 Calcul de stabilité pour la géométrie de 1H/3V. Situation statique

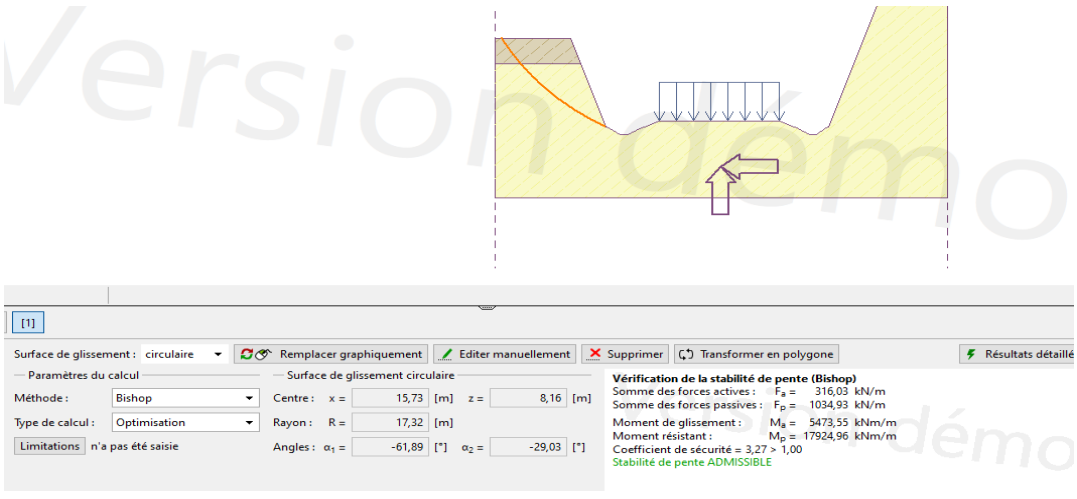


Figure X.4 Calcul de stabilité pour la géométrie de 1H/3V. Situation pseudo statique

Le tableau suivant résume le résultat du calcul de stabilité effectué :

Tableau X.1 Résultats du calcul de stabilité (déblai)

Pk	Hauteur	Pente du talus	Fs court terme	Fs cas séisme
Pk 34+180 à 34+710	7 m	1H/3V	3 .49	3.27

- **Cas remblais :**

Les hauteurs de tous les remblais détectés le long du tracé sont considérables, pour cela tous les remblais sont soumis aux calculs et la vérification de stabilité.

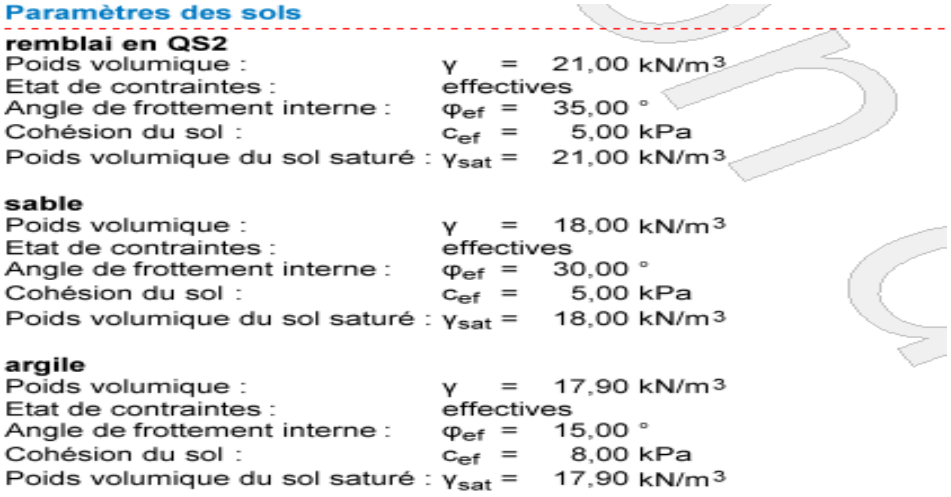


Figure X.5 Les matériaux de remblais et ces paramètres

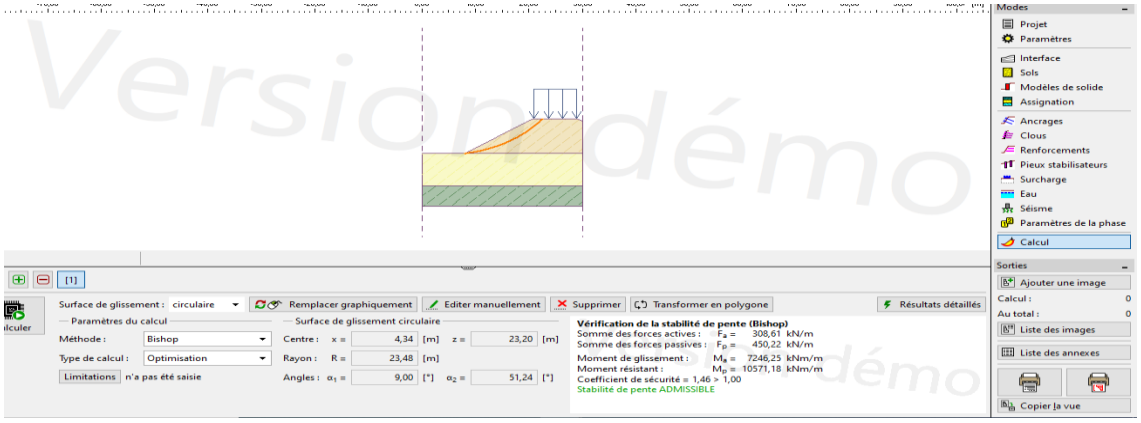


Figure X.6 Calcul de stabilité pour la géométrie de 3H/2V. Situation statique

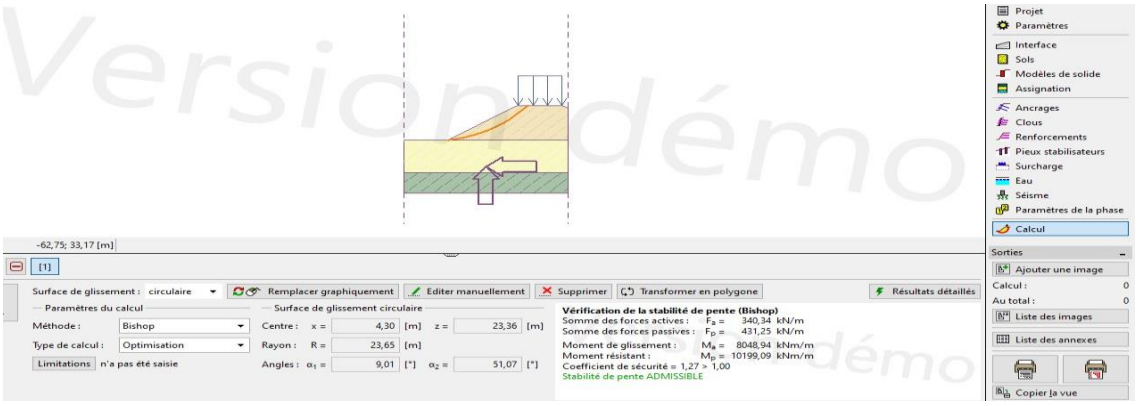


Figure X.7 Calcul de stabilité pour la géométrie de 3H/2V. Situation pseudo statique

Le tableau suivant résume le résultat de calcul de stabilité effectué :

Tableau X.2 Résultats du calcul de stabilité (remblai)

Pk	Hauteur	Pente du talus	Fs court terme	Fs cas séisme
Pk 35+804 à 38+244	8 m	3H/2V	1.46	1.27

Dans les quatre figures sont présentée les sorties graphiques qui résultent des analyses de stabilité, statique et pseudo statique, avec la représentation de la surface de rupture pour laquelle a été obtenu le facteur mineur de sécurité.

X.2 Les ouvrages :

Pour concevoir un tracé ferroviaire répondant aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne et le franchissement des différentes infrastructures existantes.

X.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 naturelle du sol, etc…

- **Exigences techniques :**

Elles sont portées, programme de charge gabarit, etc…. Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- l'obstacle franchi.

- Gabarit.
- Tirant d'eau.
- Adaptation architecturale à la région.
- protection des structures existantes.

X.2.2 Croisement avec une route :

En effet, lors de la planification d'une voie ferrée, il est essentiel de prendre en compte les problèmes de croisement afin de garantir la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur :** Si la vitesse des trains est importante V ≥ 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.

X.2.3 Les ouvrages de notre projet :

X.2.3.1 Passage supérieur :

Un passage supérieur peut être nécessaire pour permettre à la ligne ferroviaire de franchir les routes, les autoroutes, les voies ferrées existantes ou d'autres infrastructures. Elles doivent être conçues pour garantir la sécurité et la fluidité du trafic routier et ferroviaire.

Sur notre tracé nous avons seulement un passage supérieur au Pk 38+945.

Le PK 38+945 projeté sur la ligne **Ghardaïa - Ouargla** est le croisement de la voie ferrée et la piste allant vers la route nationale RN49, le passage sera emprunté par les véhicules et les piétons.

Description de l'ouvrage :

La côte FSR (353,800), au Pk 38+945, étant au niveau de 2.602 m par rapport à la cote du terrain naturel (351,602) le passage supérieur projeté est un pont à poutres multiples en béton armé d'une travée de 20.00 m.



Figure X.8 Implantation da la piste allant ver RN 49

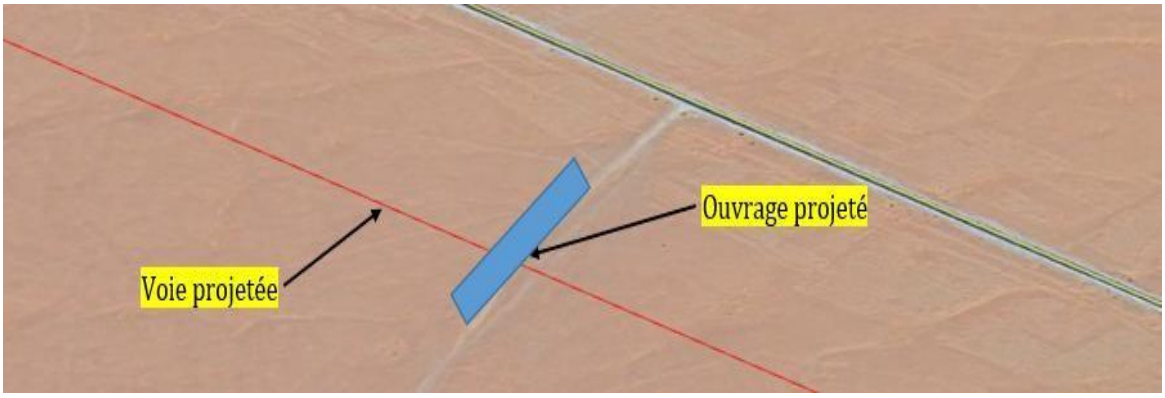


Figure X.9 Implantation de l'ouvrage

X.2.3.2 Ouvrages hydrauliques :

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

Entre le Pk 32+000 et Pk 46+000 il a été nécessaire de considérer 23 ouvrages hydrauliques, tel que détaillé dans l'étude hydraulique (Chapitre VII étude hydrologique et hydraulique) en ce qui concerne les buses et les dalots.

X.3 Calcul des volumes des terrassements :

Les volumes des terrassements sont calculés après avoir défini la ligne rouge du projet et les différentes côtes du terrain naturel à partir du tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Le calcul des cubatures des terrassements a été fait à l'aide du logiciel «CIVIL 3D 2020», les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau X.3 Résultats du calcul de stabilité (remblai)

Terrassement	Volume (m^3)
Déblais	**334 203,93**
Remblais	**364 216.46**

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

Couche	Volume (m^3)
Ballast	**39 760**
Sous-ballast	**44 448**
Couche de forme	**69 611**

Nb : les résultats détaillés sont joints dans l'annexe.

X.4 Conclusion

Le couloir de tracé présente un terrain très peu accidenté pratiquement plat, les déblais et les remblais ont des hauteurs H < 8 m. Et les calculs l'ont confirmé la stabilité de ces talus, avec des pentes de 1H/3V (déblai) et 3H/2V (remblai).

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE ZELFANA

XI. Conception de la gare Zelfana

XI.1 Introduction :

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

XI.2 Type de gare :

On distingue plusieurs types des gares :

- **Gare de voyageurs**
- **Gare marchandises**
- **Gare mixte**
- **Gare de croisement**

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

Le concepteur de la gare est appelé à établir un plan de masse en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. A ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- **Catégorie de la voie**
- **Son trafic**
- **Son emplacement**

XI.4 Aménagement de la gare

XI.4.1 Installations d'une gare à voyageurs

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

- **Le bâtiment de voyageurs (B.V)**
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)**
- **Quais**
- **Abris de quais**
- **Les passages sous terrains et les passerelles**

XI.4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux :

C'est le tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

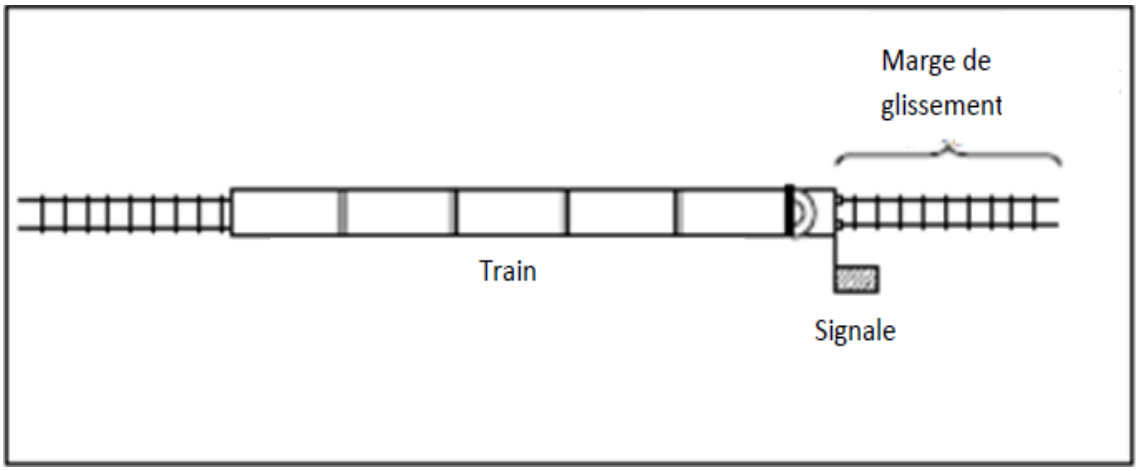


Figure XI.1 Schématisation de la marge de glissement

But de la marge de glissement : Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a pas pu d'arrêter avant cette marge, faute de freinage ou rails glissants.

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme **UIC 739** comme suit :

$50 \leq LG \leq 200$, 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.

Remarque : Lorsqu'on ne peut pas réaliser cette marge, faute de quoi, on doit systématiquement réduire la vitesse d'entrée du train avant le signal.

XI.4.3 Garage franc :

Le garage franc marque la limite de la partie de la voie à occuper par les trains en gare. La valeur théorique de garage franc est de 3,57 entraxes de la voie directe et la voie déviée, mais en raison de la sécurité, le garage franc sera installé à 1 m de distance du garage franc théorique, donc le garage franc est donnée par la formule suivante :

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

$N = \frac{1}{tan(\alpha)}$: varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

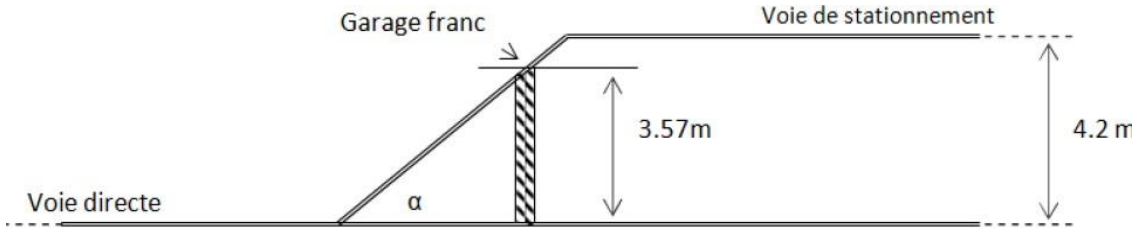


Figure XI.2 Schéma illustratif de garage franc

XI.4.4 Heurtoir :

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

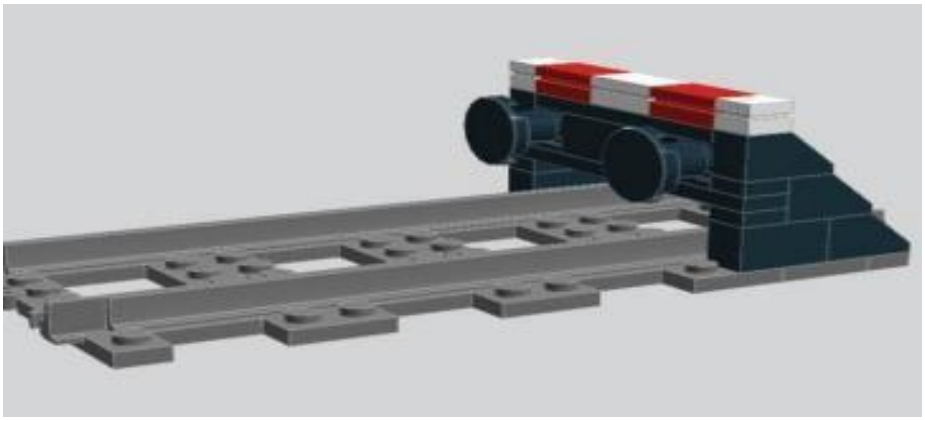


Figure XI.3 Photo représentative d'un heurtoir

XI.5 Caractéristiques géométriques des gares :

XI.5.1 Longueur utile d'une voie de stationnement

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

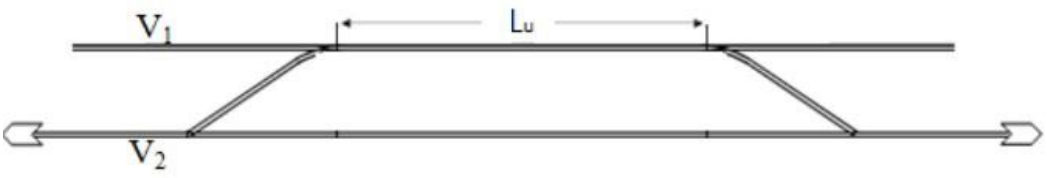


Figure XI.4 Longueur utile

Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme SNTF (aménagement et gare et tracé des voies). tel que :

- 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

XI.5.2 Déclivité dans les gares :

En gare, la déclivité est à limitée en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de 0 ‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

XI.5.3 Les Quais :

1. **La longueur de quai (normes SNTF) :**
    - Grande ligne 450 m.
    - Service régional 350 m.
    - Banlieue 225 m.
2. **La largeur des quais :**

    la SNTF recommande pour une telle gare
    - Quai intermédiaire B > 8 m
    - Quai extérieur B ≥ 6m
3. **Hauteur des quais :**

La hauteur du bord du quai devra être de 350, 550 ou de 760 mm au-dessus de la surface de roulement, et cela selon le type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

4. **La distance à l'axe de la voie :**

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, ladistance nominale à l'axe de la voie est fixée a :

$$L\ (mm) = 1650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S(mm) = \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2}$$

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



Figure XI.5 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.

5. L'entre axe des quais :

Selon SNTF :

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

XI.5.4 Les appareils de voie

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

Appareil de voie c'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre, en assurant la continuité des voies par extension.

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

Les appareils de voie comprennent :

- Les branchements simples.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions simple (T.J.S) - jonctions double (T.J.D).

XI.6 Conditions de conception des gares :

Les gares doivent répondre à un certain nombre de conditions :

- L'étude de bâtiment de voyageurs (B.V) doit être coordonnée avec l'intérieur du pland'urbanisme.
- Il faut élaborer le plan de gare de sorte à maximaliser le traitement des besoins du transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes, des plans d'urbanisme futurs.
- Le terrain doit disposer de l'espace nécessaire, mais également tenir compte d'éventuelles extensions futures de la ville

XI.7 Application Au Projet :

La nouvelle gare de Zelfana située au Sud-Ouest de la ville de Zelfana, wilaya de Ghardaia, au début de notre projet (pk 36+100) avec une longueur de 1200 m, elle est accessible par la route nationale N°49 reliant Ghardaia à Ouargla.

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

Comme V ≥ 60 km/h alors LG = 200m

- **La longueur des quais :**

Les quais des voyageurs A et B sont localisés en alignement droit et possèdent une longueur de 225 m. avec une pente de 2%

- **Largeur des quais :**

Selon les instructions recommandées par la SNTF et L'ANESRIF pour les quais on prendune largeur de **8m,** pour quai extérieur ou le quai intermédiaire.

- **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- **Entre–axe des quais :**

On prend: e > 11.3 m (entre quai A et B).

- **La distance par rapport à l'axe de la voie :**

Selon UIC741 est donnée par :

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

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit R = ∞)

I : Écartement de la voie (dans ce cas est I = 1435 mm).

$$\mathbf{L\ (mm) = 1\ 650 + \frac{3750}{\infty} + \frac{(1435 - 1435)}{2}\ =\ 1650\ mm}$$

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

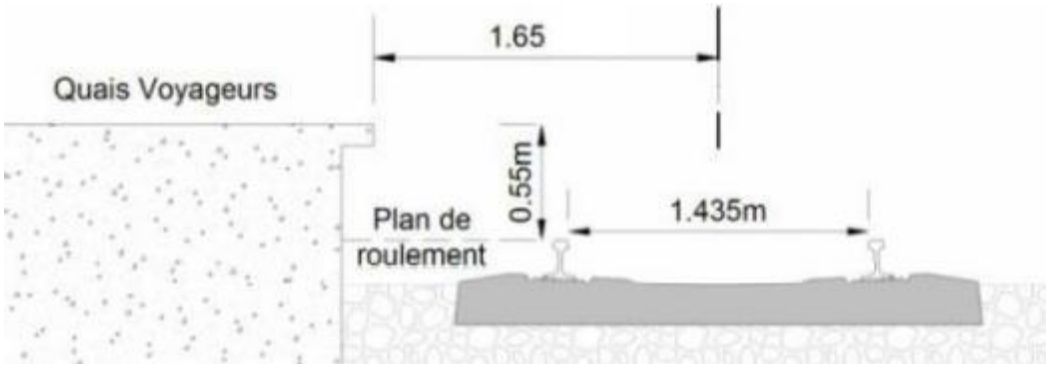


Figure XI.6 La hauteur du quai et la distance par rapport à l'axe de la voie dans lagare de Zelfana

- **La Longueur utile :**

Voie A est de Lu = 1070.77 m

Voie B : Lu = 934.34 m

Voie C : Lu = 764.37 m

- **La Longueur de garage franc** :

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

Pour l'appareil de voie type 1/12 :

$$\mathbf{GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 12) + 1 = 43.84\ m \approx 44\ m}$$

Pour l'appareil de voie type 1/9 :

$$\mathbf{GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 9) + 1 = 33.13\ m \approx 34\ m}$$

- **Passage souterrain (PS) :**

L'exécution du passage souterrain de la gare de Zelfana par :

Deux voiles et radier et la dalle avec l'épaisseur (50cm, 60cm, 60cm).

Hauteur totale : 5.6 m.

Largeur : 5 m.

Longueur : 20.90 m.

XI.8 Assainissement dans les gares :

XI.8.1 Assainissement transversale :

Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.

XI.8.2 Assainissement longitudinal :

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

Ce drainage sera formé par fossés, drains et collecteurs qui conduiront les eaux aux passages hydrauliques ou directement aux lignes d'eau existantes.

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII. Signalisation ferroviaire

XII.1 Introduction :

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

XII.2 Objet de la signalisation ferroviaire :

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (quand le train suiveur rattrape celui qui le précède.).
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez).
- La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

Le risque de nez-à-nez est pris en charge par les enclenchements de sens.

Le risque de rattrapage est pris en charge par le cantonnement.

Le risque de prise en écharpe est pris en charge par les enclenchements internes au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraires, enclenchement de transit…).

Les risques de déraillement sont pris en charge par les limitations de vitesse, des systèmes de surveillance des chargements, de chutes de rochers, de chutes de véhicules routiers et de la température des boîtes d'essieux.

Les risques aux passages à niveau sont pris en charge par des dispositifs d'annonce des trains.

- La signalisation ferroviaire permet aussi d'optimisé les circulations et d'augmenter le débit d'une ligne ferroviaire.

XII.3 Implantation des signaux en Algérie:

Les signaux ferroviaires se divisent en deux catégories qui sont les feux et les panneaux, .Ces derniers sont implantés généralement à gauche de la voie car les trains circulent à gauche sauf dans le cas où le positionnement n'est pas possible.

XII.4 Principe de signalisation ferroviaire :

Les signaux ont appelé à remplir les rôles et 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.

XII.4.1 Signalisation classique :

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

Remarque : une voie ferrée est composée de plusieurs cantons et chaque canton est isole indépendamment par un joint isolant

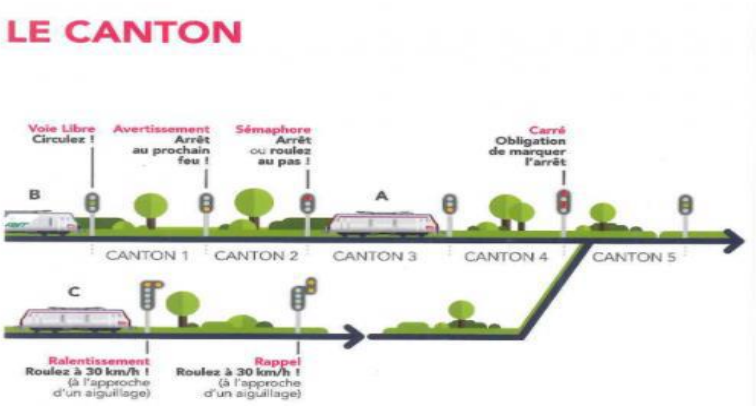


Figure XII.1 Schéma illustratif de canton

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

1. **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.

2. **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 automatique.

3. **Le block automatique lumineux (B.A.L) :** il est utilisé sur les lignes principales, c'est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c'est-à-dire pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions.

Les lignes à voies multiples sont habituellement divisées en plusieurs secteur que l'on appelle des cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant et assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

XII.5 Système de signalisation proposé pour notre projet

La pleine voie est une voie unique. Sur cette ligne, la vitesse sera de 220 km/h maximum pour les trains de voyageurs et de 100 km/h pour les trains de marchandises.

Les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

XII.5.1 Enclenchements électroniques

C'est l'ensemble de systèmes obéissant à une logique qui empêche l'exécution d'une manoeuvre contraire à la sécurité de la circulation des trains, Ils seront situés dans les locaux techniques prévus dans le bâtiment des voyageurs. La commande locale de type vidéographique de ces enclenchements sera installée dans un poste à part.

XII.5.2 Poste de commande centralisé (PCC)

C'est une installation technique d'un réseau de chemin de fer ou de transports en commun, ayant pour objectif d'assurer la marche des trains, la régulation du trafic. Le PCC permet d'avoir une vision globale d'une ligne ou d'un réseau afin de réduire les délais d'intervention en cas de dysfonctionnement

Avantage de PCC :

- Une gestion centralisée des trains

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

XII.5.3 Système de signalisation ERTMS / ETCS

- **ERTMS : E**uropean **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem, C'est le système européen de la gestion de la circulation ferroviaire
- **ETCS** : **E**uropéen **T**rain **C**ontrol **S**ystem, c'est le système Européen de protection des trains

La ligne sera entièrement équipée d'une nouvelle signalisation. Pour ce faire, c'est le système Européen de protection des trains ETCS de niveau 2 qui sera utilisé.

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

XII.5.4 Système de Cantonnement block automatique de voie unique

C'est un système de signalisation utilisé dans les opérations ferroviaires pour assurer la sécurité de la circulation des trains sur une voie unique. Ce système est conçu pour éviter les collisions entre les trains en maintenant une distance de sécurité entre eux.

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII. Etude d'impacts sur l'environnement

XIII.1 Introduction

L'étude d'impact sur l'environnement est un processus essentiel dans la planification et la conception des projets, notamment dans le cas des projets de tracé des voies ferrées. Cette étude vise à évaluer les effets potentiels du projet sur l'environnement, en particulier sur les composantes du milieu récepteur.

XIII.2 Objectifs de l'étude impact de l'environnement

Les objectifs de la présente étude d'impacts sur l'environnement sont les suivants :

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

XIII.3 Description du milieu

XIII.3.1 Milieu physique

XIII.3.1.1 Climatologie

Le périmètre d'étude est caractérisé par un climat aride avec des températures moyennes mensuelles au niveau de la ville de Zelfana du mois le plus chaud estimé à 35 °C.

En effet, les valeurs de précipitations varient entre 50 et 100 mm pour les pluies annuelles au niveau de la wilaya de Ghardaïa.

XIII.3.1.2 La topographie de la région

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara, à une altitude moyenne de 360 mètres. La topographie de la zone est globalement plate.

XIII.3.1.3 Aspect Géologique

De point de vue géologie, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal, Ce plateau a été masqué par la forte érosion des buttes à sommets plates qui a façonné des vallées.

XIII.3.1.4 Aspect hydrogéologique

Nappe phréatique : La nappe phréatique est un aquifère superficiel dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Elle est alimentée par les pluies et surtout par les crues.

La nappe phréatique de Ghardaïa, a été la ressource hydrique qui a permis aux anciennes populations de se maintenir dans la Chabka (c'est un formation géomorphologique de la région), la superficie de la zone n'a aucun signe d'eau le long du tracé.

XIII.3.1.5 Qualité de l'air

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

XIII.3.2 Milieu biologique

XIII.3.2.1 La biodiversité végétale et faune

Sur le plan biologique, les conditions écologiques au Sahara septentrional sont défavorables pour la vie des plantes qui impliquent des caractéristiques biologiques bien distinctives. Surtout que la productivité est tributaire de la disponibilité en eau. Cette disponibilité est liée aux facteurs climatique et topographique, parmi les flores sahariennes on a les Asteraceae, les Poaceae et les Fabaceae.

La Faune est variée, Elle est typique dans les zones sahariennes : oiseaux, chameau, vipères, fennecs, ghazals.



Figure XIII.1 Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude

XIII.3.3 Milieu humain

XIII.3.3.1 Démographie

Dans les limites administratives, Ghardaïa s'étend sur 24 395 Km^2, qui se décompose en 9 communes avec une population de 363 598 habitants.

XIII.3.4 Activité économique

XIII.3.4.1 L'Agriculture

La vocation de la zone d'étude (Ghardaïa) est agro-pastorale et elle enregistre un développement spectaculaire de cette activité notamment la phœnici-culture et la céréaliculture sous pivot grâce à son climat et à la mobilisation de la ressource hydrique.

XIII.3.4.2 L'industrie

Le tissu industriel de la Wilaya est composé de 326 unités industrielles dans les branches d'activité :

- ISMME : 35 unités dont 32 unités du secteur privé
- Matériaux de construction, céramique et verre : 65 unités du secteur privé
- Textile : 71 unités du secteur privé
- Agroalimentaire : 30 unités du secteur privé
- Chimie, caoutchouc et plastique : 66 unités du secteur privé
- Bois, liège, papier et impression : 45 unités du secteur privé
- Mines et carrières : 14 unités du secteur privé

XIII.4 Résume des impacts positifs et négatifs des couloirs

Tableau XIII.1 Impacts positifs et négatifs des couloirs

Impacts positifs	Impacts négatifs et risques
• Facilitation du transport de voyageurs et de marchandise • Diminution des accidents dus au transport routier • Diminution de la congestion des villes dues au parc automobile • Développement des régions isolées traversée	• Risque d'atteinte aux cours d'eau (pollution de l'eau lors des travaux de réalisation) • Risque d'atteinte à la faune et la flore • Érosion et/ou tassement des sols durant la phase de réalisation • Emission de gaz à effet de serre par les

par le projet • Augmentation de la valeur des terrains ruraux traversés par le projet • Développement des activités socio-économiques ce qui impactera positivement le mode de vie et l'environnement • Diminution de l'exode rural dans les zones traversées par le projet • Diminution des émissions sonores dus au parc automobile et aux trains vétustes	engins utilisés dans la réalisation du projet

XIII.5 Mesure d'insertion et d'atténuation proposées

XIII.5.1 Mesures d'atténuation générales en phase de chantier (construction)

Il est nécessaire de suivre les mesures suivantes pour assurer le bon fonctionnement du projet en préservant l'environnement :

- Décaper, récupérer et mettre en réserve la terre végétale sous forme d'îlots n'excédant pas 1,5 m de hauteur
- Faire le plein de carburant et l'entretien de la machinerie de chantier et des véhicules dans un site désigné à cet effet situé loin des cours d'eau.
- Utiliser une machinerie en bon état de fonctionnement afin de minimiser les risques de déversement accidentel et l'émission de polluants atmosphériques
- Assurer que le drainage ne modifiera pas les conditions hydrologiques des propriétés voisines de l'emprise
- S'assurer que les fossés et les ponceaux sont de dimensions suffisantes pour évacuer les eaux de ruissellement
- Nettoyer les zones d'accumulation et stabiliser les talus de façon permanente à la fin des travaux.
- Limiter la vitesse des véhicules dans la zone des travaux.

XIII.5.2 Mesures correctrices et d'insertion

XIII.5.2.1 Mesures lors de la phase de réalisation et d'exploitation

- sélectionner et signaler des itinéraires spécifiques pour la machinerie de chantier pour minimiser la congestion et le bruit.

- Il est recommandé l'exécution des travaux de nivellement, excavation et construction qui génèrent des nuisances sonores, en horaire de travail et éviter au maximum de travailler durant les heures de repos de la population.
- Limitation de vitesse des engins sur chantier.
- Assurer la signalisation et la disposition de clôtures pour marquer la zone de travaux.

XIII.5.2.2 Mesures sur le bruit

- Utilisation de machinerie en bon état avec un entretien périodique.
- Les engins utilisés sur chantier doivent être munis de mécanismes d'insonorisation ou d'atténuation de bruit.

XIII.5.2.3 Mesures sur la qualité des eaux

- Il faut éviter au maximum les déversements sur les cours d'eau de ciment, huiles, hydrocarbures, restes végétaux qui risquent de polluer les eaux superficielles et souterraines.
- Il est souhaitable que l'ouvrage adresse toujours les eaux résiduelles générées vers les égouts, si possible vu le risque de pollution des eaux de surfaces et souterraines.

XIII.5.2.4 Mesures sur la protection des réseaux d'énergie

Les réseaux recensés lors de l'élaboration de cette étude consistent en des lignes électriques (MT et HT), des conduites de transport et de distribution de gaz. Leur actualisation doit être entreprise en phase d'étude d'exécution en vue d'assurer leur protection et leur déviation en cas de nécessité avant le début des travaux.

XIII.5.2.5 Mesures sur les déchets

- Pour une bonne gestion des déchets sur les sites secondaires de chantier, il faudra les séparer selon leur nature et caractéristiques
- En vue d'éviter les déversements et pertes de matériaux sur le terrain, il faudra les placer sur une plate-forme imperméable pouvant retenir et isoler les déversements des bidons.
- Le stockage des produits dangereux doit faire l'objet de dispositifs strictes et particulièrement spécifiques pour limiter les risques sur l'environnement.

XIII.5.3 Mesures contre l'ensablement

- Optimiser au mieux possible les décapages des sols.

- Végétaliser les pentes afin de stabiliser les sols et limiter l'érosion.
- Éviter dans la mesure du possible la création de grands Remblais/Déblais qui constituent de fait, des points d'accumulation de sable par le temps.



Figure XIII.2 Problème d'ensablement dans les zones désertiques

Pour réduire le risque d'ensablement voici une solution qui peut minimiser son effet :

- **L'intervention directe à l'aide d'engins mécanique et/ou locale (manuelle) :**

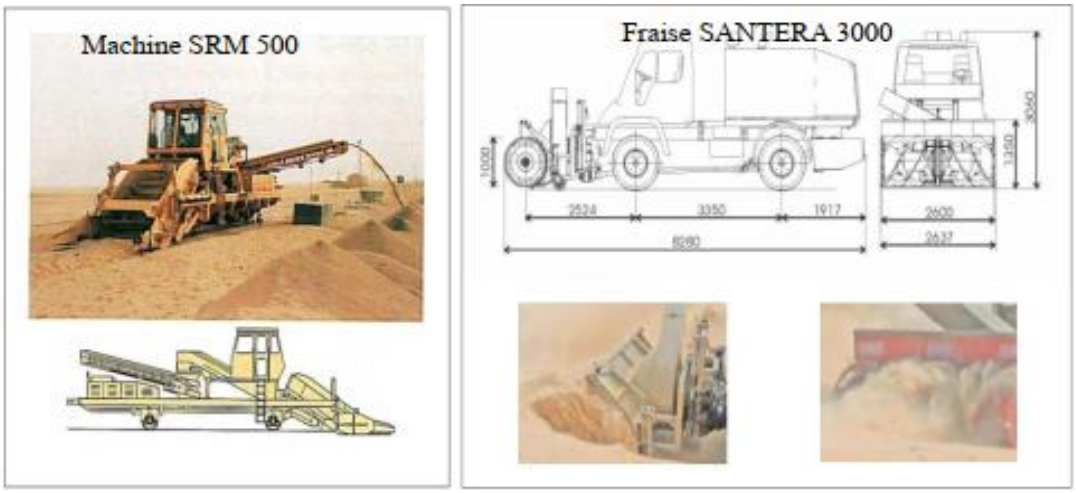


Figure XIII.3 Traitement mécanique contre l'ensablement

- **L'expérience chinoise**

En Chine, Il a été observé que grâce aux barrages verts avec herbes et arbustes et dans les réseaux forestiers à l'intérieur des terres à protéger :

- la vitesse du vent a diminué.
- la résistance de la surface du sol a l'érosion augmentée.
- le taux de réflexion de la lumière a diminué grâce à la couverture végétale.
- la concentration d'humidité dans l'air a augmenté à cause de la transpiration des plantes.
- l'avancée du désert par invasion du sable a été réduite et les dunes mobiles ont été stabilisées.

XIII.6 Conclusion

Afin d'assurer la mise en œuvre des mesures d'intégration environnementale du projet et contrôler leur application, il est essentiel de mettre en place un programme de surveillance. Ce programme permettra de suivre et de surveiller les mesures de préservation et de récupération tout au long des phases de construction et d'exploitation de la future voie ferrée et des infrastructures associées.

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XIV. Devis estimatif et quantitatif

Article		Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1 - INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION					
1-1	installation général du chantier	F	500 000 000.00	1,00	500 000 000.00
1-2	Etude d'exécution	F	95 000 000.00	1,00	95 000 000.00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					**595 000 000.00**
2 - TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale sur épaisseur de 0.4 m	M3	440,00	163 000	71 720 000.00
2-2	Déblais mise en dépôt	M3	560.00	334 203,93	187 154 200.80
2-3	Remblais d'apport	M3	620,00	364 216,46	225 814 205.20
2-4	Couche de forme	M3	2000.00	69 611	139 222 000.00
2-5	Sous ballast	M3	3 500,00	44 448	155 568 000.00
Coût total des terrassements (DA)					**779 478 406.00**
3 – OUVRAGES HYDRAULIQUE					
3-1	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 800mm	ML	30 000.00	20	600 000.00
3-2	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1000mm	ML	35 000.00	275	9 625 000.00
3-3	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500mm	ML	60 000.00	15	900 000.00
3-4	Fossés trapézoïdaux en béton armé et les cunette et le canal carré	ML	6 200.00	8 252	51 162 400.00
3-5	Dalot en béton armé 3×1	M3	50 000.00	798	39 900 000.00
3-6	puisard	U	42 000.00	12	504 000.00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					**102 691 400.00**
4 - TRAVAUX DE VOIE					
4-1	Fourniture et pose de ballaste sur épaisseur de 0.3 m	M3	7 400.00	39 760	294 224 000.00
4-2	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	T	199 962.00	1 979.152	395 755 192.20
4-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	1 800.00	109 336	196 804 800.00
4-4	Pose de la voie	ML	8 500,00	32 800	278 800 000.00
4-5	Fourniture des traverses mono-bloc	U	12 000,00	27 334	328 008 000.00
4-6	Fourniture d'un ADVUIC 60-500-1/12	U	18 900 000.00	2	37 800 000.00
4-7	Fourniture d'un ADVUIC 60-300-1/9	U	15 700 000.00	2	31 400 000.00
4-8	Pose d'un ADV simple UIC 60-500 1/12	U	654 000.00	2	1 308 000.00

4-9	Pose d'un ADV simple UIC 60-300 1/9	U	580 000.00	2	1 160 000.00
4-10	Soudage aluminothermique	U	20 800.00	112	2 329 600.00
4-11	Soudage électrique	U	18 400.00	1820	33 488 000.00
Coût total des travaux de voie (DA)					**1 601 077 592.20**
5 - GARE					
5-1	Bâtiment de voyageur + aménagement extérieur + Quais				240 000 000.00
Coût total de la gare (DA)					**240 000 000.00**

RECAPULATION		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot N° 01	Installation de chantier et étude d'exécution	595 000 000.00
Lot N° 02	Terrassements	779 478 406.00
Lot N° 03	Ouvrages hydraulique	102 691 400.00
Lot N° 04	Travaux de voie	1 601 077 592.20
Lot N° 05	Gare	240 000 000.00
Montant du projet HT		3 318 247 398.20
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		**3 948 714 403.86**

Montant total du projet en TTC :

Trois milliards neuf cent quarante-huit millions sept cent quatorze mille quatre cent trois dinars et quatre-vingt-six centimes.

SYNTHESE DE TRAVAIL :

Le projet de fin d'étude porte sur une étude APD d'une nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa-Ouargla sur le tronçon du Pk 32+000 au Pk 46+000 avec une vitesse rapide de 220 km/h et lente de 100 km/h avec la boucle de raccordement et la conception de la nouvelle gare voyageurs de ZELFANA.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de désenclavement et développement de la région Sud-est du pays, cette ligne contribuerait à donner un autre souffle pour les activités socio – économiques de la région, et soulager le réseau routier d'une partie du trafic. Cette grande ligne est considérée comme une grande infrastructure contribuant au développement de l'économie du pays.

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

De plus, Ce travail nous a permis de développer notre côté informatique, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, CIVIL 3D, Global Mapper, Géo 5 et SketchUp.

Annexe A

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Plage d'abscisse : Début 32+000, Fin : 46+000

Logiciel : civil 3d 2020

Elément	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			32+000	608699.9506	3581467.2307
DR1	ANG=87.2688 (g)	605.832			
			32+606	609293.7089	3581587.5803
CLO2	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			32+736	609421.2985	3581612.4836
ARC3	XC=609953.4141				
	YC=3578660.0519				
	R=3000.000	2404.691			
			35+141	611704.4415	3581096.0123
CLO4	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			35+271	611808.8907	3581018.6192
DR5	ANG=141.0566 (g)	5221.158			
			40+492	615981.3833	3577880.0222
CLO6	A=631.664				
	R=2100.000	190.000			
			40+682	616134.9129	3577768.1201
ARC7	XC=617320.1021				
	YC=3579501.7079				
	R=2100.000	873.119			
			41+555	616936.0725	3577437.1204
CLO8	A=631.664				
	R=2100.000	190.000			
			41+745	617123.8142	3577408.0261
DR9	ANG=108.8279 (g)	711.731			
			42+457	617828.7138	3577309.6477
CLO10	A=631.664				
	R=2100.000	190.000			
			42+647	618016.4555	3577280.5533
ARC11	XC=617632.4260				
	YC=3575215.9659				
	R=2100.000	602.021			
			43+249	618584.5780	3577087.7048
CLO12	A=631.664				
	R=2100.000	190.000			
			43+439	618751.2359	3576996.4986
DR13	ANG=132.8382 (g)	2561.444			
			46+000	620979.4059	3575733.0686

Annexe B

Listing de la géométrie de profil en long

Plage d'abscisse : Début 32+000, Fin : 46+000

Logiciel : civil 3d 2020

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			32+000	381.280
D1	PENTE= -0.73%	1067.916		
			33+068	373.482
ARC1	S= 33+126 Z=373.061			
	R= -38000.000	115.177		
			33+183	372.815
D2	PENTE= -0.43%	1046.993		
			34+230	368.343
ARC2	S= 34+290 Z=368.088			
	R= -22000.000	119.280		
			34+349	367.510
D3	PENTE= -0.97%	943.243		
			35+293	358.367
ARC3	S= 35+375 Z=357.568			
	R= -17000.362	164.788		
			35+457	357.568
D4	PENTE= 0.00%	1544.421		
			37+002	357.568
ARC4	S= 37+075 Z=357.568			
	R= -17000.000	146.364		
			37+148	356.938
D5	PENTE= -0.86%	614.059		
			37+762	351.651
ARC5	S= 37+859 Z=350.819			
	R= -17000.000	193.346		
			37+956	351.086
D6	PENTE= 0.28%	2940.100		
			40+896	359.211
ARC6	S= 40+950 Z=359.362			
	R= -35000.000	108.629		
			41+004	359.343
D7	PENTE= -0.03%	2942.262		
			43+947	358.343
ARC7	S= 44+005 Z=358.323			
	R= -25000.000	117.755		
			44+064	358.026
D8	PENTE= -0.51%	1935.669		
			46+000	348.250

Annexe C

Annexe C1 : Listing des ouvrages d'arts

Plage d'abscisse : Début 32+000, Fin : 46+000

N° BV	pk	Ouvrage choisie
1	32+438	**Buse** Ø1000
2	32+489	**Buse** Ø1000
3	33+058	**Buse** Ø1000
4	33+513	**Buse** Ø1000
5	33+643	**Buse** Ø1000
6	33+711	**Buse** Ø800
7	33+812	**Buse** Ø1000
10	35+065	**Buse** Ø1500
13	36+030	**Buse** Ø1000
14	36+300	**Buse** Ø1000
15	37+070	**Buse** Ø1000
16	37+615	**Buse** Ø1000
17	37+858	**10*DALOT 3×1**
18	38+143	**Buse** Ø1000
21	38+956	**Buse** Ø1000
22	39+370	**Buse** Ø1000
23	39+470	**Buse** Ø1000
24	39+588	**Buse** Ø1000
25	40+000	**Buse** Ø1000
26	40+316	**Buse** Ø1000
27	41+800	**Buse** Ø1000
28	41+931	**Buse** Ø1000
29	42+455	**Buse** Ø1000

Annexe C2 : Canalisation 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

Annexe D

Annexe D1 : 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 < 1.7 <t/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<MDE≤40 et 30<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

Annexe D2 : Interprétation des résultats des essais de laboratoire

Unite 1: SABLE

Cette unité d'âge mio- pliocène est du loin le type du sol le plus rencontré au cours de cette investigation (en plus du calcaire en degré moins), elle constitue le substratum de la région d'Ouargla. Il s'agit d'un sable moyen à grossier caractérisé par sa consistance le plus souvent compacte à très compacte (les essais SPT ont enregistrés des refus) et contient des passages grésifiés par endroit, de couleur rougeâtre à brunâtre, marqué souvent par la présence de graves et/ou cailloux sur la partie superficielle, cette unité est rencontrée sur un vaste linéaire du projet,elle est localisée principalement du **PK38+000** (F07-GH-O) jusqu'au la fin de tracé. Elle est systématiquement rencontrée au niveau du sous-sol (s'étend au moins jusqu'à 12m) peut se manifester à partir de 01.00m, 03.00m, 06.00m, selon le point investigué (il est différent du sablefin éolien de dunes).

Selon les graphiques obtenus à l'issue des analyses effectuées, les matériaux testés renferment un pourcentage d'éléments fins (< 80µm) compris entre 4 et 84% avec une moyenne de l'ordre de 13% ce qui correspond généralement à un matériau de la classe B5 à B6 et peut-être considéréde qualité QS2 « sol de qualité moyenne » selon les sections investiguées.

Paramètre	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moyenne
Poids volumique sec	Y_d (t/m^3)	1.18	2.49	1.98
Teneur en eau	W (%)	4	15.68	12.48
Dégrée de saturation	Sr (%)	/	/	/
granulometrie	$< 2mm$	30	99	77.8
	$< 80\mu m$	4	84	44
Limites d'Atterberg	WL (%)	20.52	23.55	21.63
	Wp (%)	/	/	/
	Ip (%)	/	/	/
Compression simple	Rc (MPA)	3.4	22.3	11.25
Compressibilité à	Pc (MPA)	/	/	/
	Cc (%)	/	/	/

l'œdomètre	Cg (%)	/	/	/
Cisaillement rectiligne	C'(bars)	0.018	0.46	0.185
	Φ' (°)	29.7	35.1	32.9
Analyse chimique des sols %	SULFATES ($CASO_4$, 2H2O) %	Traces	31.3	7.21
	CHLORURES NaCl (%)	0.002	0.16	0.043
	CARBONATE CaCO3(%)	01	45	25.6

Unité 2 : Encroutement calcaire

Cette unité de pliocène continental de couleur brunâtre assez graveleux caillouteuse, parfois intercalée par des passages rocheux est très répandue le long du tracé, les coupes de sondages onttoujours révélé la présence de cette unité sur des épaisseurs variables, néanmoins toujours comme couches superficielles ou parfois au-dessous d'une fine couche de sable brunâtre. Il s'agit d'un matériau de la classe **R_{23}** et peut-être considéré de qualité **QS2** « sol de qualité moyenne » selon les sections investiguées.

Paramètre	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moyenne
Poids volumique sec	Y_d (t/m^3)	/	/	/
Teneur en eau	W (%)	/	/	/
Dégrée de saturation	Sr (%)	/	/	/
granulometrie	$< 2mm$	95	99	97
	$< 80\mu m$	15	31	22
Limites d'Atterberg	WL (%)	20.30	27.73	23.85
	Wp (%)	/	20.39	/
	Ip (%)	/	7.34	/
Compression simple	Rc (MPA)	/	/	/
	Pc (MPA)	/	/	/

Compressibilité à l'œdomètre	Cc (%)	/	/	/
	Cg (%)	/	/	/
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	0.21	0.21	/
	Φu (°)	35	35	/
Cisaillement rectiligne	C'(bars)	0.23	0.23	/
	Φ' (°)	31	31	/
Analyse chimique des sols %	SULFATES (CASO4, 2H2O) %	00	10.87	8.11
	CHLORURES NaCl (%)	0.009	0.04	0.02
	CARBONATE CaCO3(%)	15	43	25.80
	INSOLUBLES	32.2	66.8	50.56

Unité 3 : Calcaire

Cette unité de crétacé supérieur est considérée de par les résultats de sondages obtenus, comme le substratum de la région d'étude le long du tracé.

Les résultats obtenus ont fait ressortir cette unité en divers formes et aspect à savoir : un calcaire très dur sain ou parfois fracturée, à aspect conglomératique ou contenant de la dolomite (calcaire dolomitique) ou (rarement) crayeux. Cette unité constituée comme mentionné précédemment le substratum de cette section de tracé. Il s'agit d'un sol rocheux de la classe **R22**et peut-être considéré de qualité **QS3** « Bon sol » selon les sections
Investiguées. Considérant le caractère rocheux dur de cette formation, les essais sont basés sur les essais de compression simple. La synthèse des résultats obtenus (valeurs minimales, maximales et moyennes) est donnée dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moyenne
Poids volumique sec	Y_d (t/m^3)	2.21	2.70	2.50
Teneur en eau	W (%)	1.94	2.73	2.50
Dégrée de saturation	Sr (%)	/	/	/

granulometrie	$< 2mm$	/	/	/
	$< 80\mu m$	/	/	/
Limites d'Atterberg	WL (%)	/	/	/
	Wp (%)	/	/	/
	Ip (%)	/	/	/
Compression simple	Rc (MPA)	9.825	88.272	39.17
Compressibilité à l'œdomètre	Pc (MPA)	/	/	/
	Cc (%)	/	/	/
	Cg (%)	/	/	/
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	/	/	/
	Φu (°)	/	/	/
Cisaillement rectiligne	C'(bars)	/	/	/
	Φ' (°)	/	/	/
Analyse chimique des sols %	**SULFATES (CASO4, 2H2O) %**	00	07.95	/

Annexe E

Exigence sur les constituants de l'assise

Ballast

Le ballast utilisé en chemin de fer doit avoir ou moins les qualités suivantes :

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12Kn.
- Résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22,4/63 mm.
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%.
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %.
- La granularité du ballast se situe approximité dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée).
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter

Les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau suivant : (voir tableau).

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	% de la masse passante
63	100
50	70-99
40	30-65
31,5	1-25
22,4	0-3
31,5-50	≥50

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

Sous-ballast

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0 /31.5mm),bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1, un coefficient de forme A ≤25 et un LA+MDE≤ 40. (Fiche n° 1(ST N° 590 B_oct95)).

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 20

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS

Fiche n° 1 : Sous-couche pour couche "sous-ballast"

Type de matériau : D2 , D3 , R21 [1] , ***R41 , R61***

		lignes parcourues à grandes vitesses V > 160 km/h	autres lignes	Observations
désignation		Grave 0 / 31,5 bien graduée		voir § 7.3.2
Caractéristiques intrinsèques				
résistance	LA+MDE	<= 40	<= 50	
Caractéristiques de fabrication				
dimensions nominales	d	0		
	D	31,5	31,5 (ou 40)	
granularité	P[2D]	100		[2]
(fuseau de spécification)	P[1,58D]	100 - 99	*fuseau de la courbe moyenne*	
	P[D]	99 - 85		
	P[D/2]	81 - 55	*P[D/2] : 73 - 65*	
	P[D/5]	57 - 31	*P[D/5] : 52 - 42*	
	P[D/10]	45 - 23	*P[D/10] : 40 - 31*	
	P[D/20]	36 - 17	*P[D/20] : 31 - 22*	
	P[D/50]	26 - 11	*P[D/50] : 21 - 16*	
	P[D/100]	19 - 8	*P[D/100] : 15 - 12*	
	P[D/200]	13 - 6	*P[D/200] : 10 - 8*	
	P[0,08]	8 - 4		
angularité		Entièrement concassée	>= 95 sec. (sur fraction 6,3/10)	voir § 7.4
forme	A	<= 25		
propreté	Vbg	<= 1		voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires				
compacité		>= 82 %	>= 80 %	
sensibilité au gel		non gélif		voir § 8.2.3
granulats artificiels			[3]	

Couche de forme de classe QS3

Conformément au document des spécifications techniques (ST590b). Elle est exécutée en grave 0/D. avec une résistance LA+MDE ≤ 60 et une valeur de propreté Vbg ≤2 ((Fiche n° 4 (ST N° 590 B_oct95)).

Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont : γd ≥ 100% de l'OPM, EV2 ≥ 80 MN/m².

Fiche n° 4 : couche de forme de qualité S3 ou Rt3

Type de matériau : B3 , CiBi , D2 , D3 , R21 , R41 , R61 , F31 , F71

désignation		Grave 0 / D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	R [1]	<= 60	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	20 à 125	
granularité	P[2D]	100	
(fuseau de spécification)	P[Dmax]	100-99	
	P[D]	99 - 85	
	P[D/2]	84 - 55	
	P[D/5]	60 - 31	
	P[D/10]	49 - 23	
	P[D/20]	40 - 17	
	P[D/50]	30 - 11	
	P[D/100]	22 - 8	
	P[D/200]	16 - 6	
	P[D/500]	9 - 3	
	P[D/1000]	6 - 2	[2]
angularité			
forme	A	<= 25	
propreté	Vbg	< 2	voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires			
compacité		>= 80 %	
sensibilité au gel		[3]	voir § 8.2.3
granulats artificiels		[4]	

Annexe F

Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur e

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 a 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 ≤ 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 a grande vitesse.
	0,10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a 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.

Annexe G

Les branchements de la gare

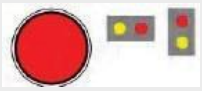
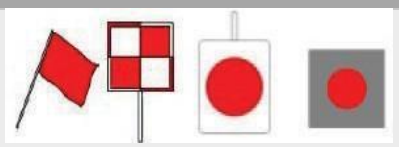
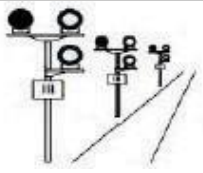
Domaine d'emploi du branchement	Vitesse(Km/h)	Type de branchement
• Dans les faisceaux de classement, remisage, voie de nettoyage et toutes les voies de manoeuvre.	40	R190- 1/7 tg (0,143) R190- 1/9 tg (0,111)
• Comme branchement d'entrée et de sortie de voies de quais les trains de voyageurs. • Dans le faisceau de transfert de la a gare de marchandises. • Dans la voie de circulation des trains marchandises	50	R300- 1/9 tg (0,111)
• Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisées par les trains de banlieue ou de voyageurs. • Dans les communications des voies de ligne. • Dans la bifurcation d'une voie de ligne Comme branchements d'entrée et de sortie des gares.	60	R500- 1 /12 (0,083)

Annexe H

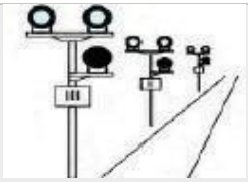
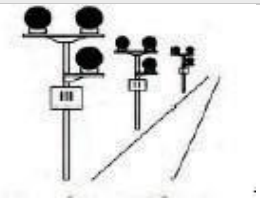
Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indiqueau conducteur que la circulation en marchenormale 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.		
Feu violet ouCarré Violet fermé + Feux de nuit	Comman de l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore /Feux rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêteravant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasserla 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 denuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		

Annexe H

L'avertissement/ feux 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 enmesure 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 aupremier signal ou aiguillage rencontré		
La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être enmesure de s'arrêter àquai sur une distance réduite		
Le Ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/hPour franchir uneaiguille		
Le rappel 30fermé			
Le ralentissementet rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60km/h Pour franchir une aiguille		
Signal	**Indication**	**Signalisation**	
Le signal d'arrêt àmain	Il commande l'arrêt immédiat		
	L'allumage alterné de deux feux blancs sur uneligne Verticale		

Annexe H

Signal lumineux demanœuvre type S.N.C. F	Refouler par l'allumagealternéde deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.	
Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire	

Signalisation moderne

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