République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire entre GHARDAIA et OUARGLA du PK 15+000 au PK 37+000 avec la conception de la gare de ZELFANA

Présenté par :

Faiza MECHEROUKI

Encadré par :

Mme. Zohra KHAOUAS

Promotion 2020 / 2021

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je tiens à remercier mon encadrant Madame KHOUAS , Un grand merci pour tout l'équipe de SETIRAIL pour son accueil chaleureux .

Je saisis également cette occasion pour adresser mes profonds remerciements à les pieux de notre département Madame Mehdia BOUREBIA et Madame Imene MAKOUDI .

Je désire aussi remercier tout les professeurs de l'école.

Je tiens particulièrement à remercier une trés cher collègue mademoiselle Hinda ZAABAR

Un grand merci à ma mère et mon père pour leurs soutiens inconditionnel.

Pour finir , je voudrais remercier mes sœurs et mon frère qui ont été toujours à mon écoute .

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents ,la source de ma vie ,
d'amour et d'affection.
À mes chers sœurs et mon frère
À toute ma famille (Khtitou , Didou , Fifi , Adlane , Toufik ,
Meriem , Ouarda , Soumia , Bilal , Moh ...)
À Papitou et toute la famille BOUHADJA.
Je tiens à dédie la promotion de enstp 2018/2021.
À tous mes amis tout particulièrement : Besma , Noumidia ,
Hinda , Noor , Oussama , Abdou , Meriem , Azzou , Warda.

Résumé

Le présent mémoire synthétise la conception et l'étude en avant-projet détaillé d'une ligne ferroviaire à voie unique reliant deux villes GHARDAÏA et OUARGLA.
Le tronçon étudié démarre du PK 15+000 au PK 37+000 sur un linéaire de 22km sur lequel on prévoit un aménagement d'une gare voyageur à la fin du tronçon.
Le projet a été élaboré suivant les normes international UIC (union international de chemin de fer) et les recommandations Algériennes de la SNTF (Société nationale de transport ferroviaire) en utilisant le logiciel de conception Civil 3D (Version 2021) ; un système d'information géographique Global mapper V.15 et logiciel Plaxis 3D.

ملخص

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية الرابط بين المدينتين غرداية و ورقلة. المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 15+000 إلى 37+000 بطول22 كم مع تهيئة محطة لنقل المسافرين في نهاية المقطع
المشروع صمم وفقا لمعايير االتحاد الدولي للسكك الحديدية والشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية باستخدام برنامج الدراسة والتصميم CIVIL 3D ونظام المعلومات الجغرافية GLOBAL MAPPER والبرنامج PLAXIS 3D

Abstract

This memo summarizes the design and study in detail design of a railway single track connecting two cities GHARDAÏA and OUARGLA.
The section starts studied the PK 15 + 000 to KP 37 + 000 over a length of 22km on which provides for development of a station.
The project was developed according to international standards UIC (International Railway Union) and the Algerian SNTF recommendations of the (national railway company) using the design program Civil 3D (Version 2021); a geographic information system Global mapper V.15 and PLAXIS 3D software.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction Générale **10**

I Généralités **12**

I.1 Aperçu général sur les transports en Algérie 13

I.1.1 Le transport routier 13

I.1.2 Le transport ferroviaire 13

I.1.3 Le transport maritime 13

I.1.4 Le transport aérien 13

I.2 Importance du Chemin de fer 14

I.3 Le réseau ferroviaire algérien 14

I.4 Structure actuelle du réseau ferroviaire 14

I.5 La lutte contre l'ensablement des voies ferrées constitue un problème particulier 16

II Description de la voie **18**

II.1 Les rails 19

II.1.1 Différents profils 19

II.1.2 Le rail à double champignon 19

II.1.3 Rails à patin 20

II.2 Acier à rail 21

II.3 Traverses et Attaches 21

II.3.1 Pose sur traverses 21

II.3.2 Les traverses en bois 21

II.3.3 Traverses métalliques 22

II.3.4 Traverses en béton armé 22

II.4 L'éclissage et les longs rails soudés (L.R.S) 23
II.4.1 L'éclissage 23
II.4.2 Les longs rails soudés (L.R.S) 24

III Présentation du projet **26**
III.1 Introduction 27
III.2 Localisaton de projet 27
III.3 Sites d'implantation 28
III.3.1 La ville de Ghardaia 28
III.4 Avantages et Objectifs de projet 29
III.5 Caractéristiques de notre projet 29
III.6 Normes appliquées 30

IV Étude Géometrique de la voie **31**

Tracé en plan **32**
IV.1 Inroduction 32
IV.2 Conditions et règles de tracé 32
IV.3 Les élements de tracé en plan 33
IV.3.1 L'alignement 33
IV.3.2 L'arc de cercle 33
IV.3.3 La courbe de raccordement 34
IV.4 Conditions de raccordement 34
IV.5 Le dévers 34
IV.5.1 Dévers théorique 35
IV.5.2 Dévers pratique 35
IV.5.3 Notion de l'insuffisance (I) et de l'excès du dévers (E) 36
IV.6 Application numirique pour le calcul des dévers les paramétres de clothoides 37
IV.6.1 Les résultats de calculs pour notre axe en plan 38
IV.7 Introduction 39
IV.8 Procedes de calcul 39
IV.9 Exemple de calcul d'axe 40

Profil en long **44**
IV.10Définition et conception 44
IV.11Ligne rouge et ligne de projet 44
IV.12Application au projet 45
IV.13Exemple de calcul des éléments du profil en long 45

Profil en travers **47**
IV.14Introduction 47
IV.15Les éléments du profil en travers 47
IV.16Les profils en travers affectés dans notre projet 48

V Étude géologique et géotechnique **49**

Étude géologique **50**
V.1 Introduction 50
V.2 Géologique de la plate-forme saharienne 51
V.3 Géomorphologie de la région 52
V.3.1 Chabka du M'Zab 52
V.3.2 Région des dayas 54
V.3.3 La région des Regs 54
V.4 Cadre sismique 55

Étude géotechnique **56**
V.5 Inroduction 56
V.6 Géologie et Géotechnique locale 57
V.7 Essais in situ 58
V.8 Essais de Laboratoire 59
V.8.1 Essai de laboratoire sur sondages carottés 59
V.8.2 Essai de laboratoire sur prélèvements des puits 60
V.9 Classification du sol selon les résultats 62
V.10 Conclusion 62

VI Structure D'assise Et Dimensionnement De La Plateforme Ferroviaire **64**
VI.1 Structure d'assise 65
VI.1.1 Rôles des structures d'assise 65
VI.2 Les différentes couches d'assise 65
VI.2.1 Le ballast 65
VI.2.2 La sous –couche 67
VI.3 Dimensionnement des couches d'assise 68
VI.3.1 Plate- Forme Proposée 68
VI.3.2 Méthode de dimensionnement adoptée 69
VI.3.3 Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R 69

VIILes terrasements **71**
VII.1Introduction 72

VII.2 Déblai . . . 72
VII.3 Remblai . . . 72
VII.4 La réutilisation des matériaux en remblai . . . 75
VII.5 Etude de stabilité des pentes de déblai et remblai . . . 75
VII.5.1 Stabilité de remblai . . . 75
VII.5.2 Stabilité de déblai . . . 75
VII.5.3 Cubatures . . . 76
VII.5.4 Conclusion . . . 77

VIII Étude Hydraulique **78**
VIII.1 Caractéristiques des bassins versants . . . 79
VIII.2 Caractéristiques climatiques de la zones . . . 80
VIII.2.1 Pluviométrie . . . 81
VIII.2.2 Les vents . . . 83
VIII.2.3 Les crues . . . 84
VIII.3 Exemple de calcul . . . 86
VIII.4 Dimensionnement des ouvrage hydrauliques . . . 87
VIII.4.1 Dimensionnement des dalots . . . 87
VIII.5 Vérification conditions d'auto curage . . . 88
VIII.6 Drainage longitudinal . . . 88
VIII.6.1 Dimensionnement des fossés . . . 88

IX Conception de la gare de ZELFANA **90**
IX.1 Introduction . . . 91
IX.2 Aménagement de la gare . . . 92
IX.3 Réseau de voie . . . 92
IX.3.1 Garage franc . . . 93
IX.3.2 La longueur utile d'une voie de stationnement . . . 93
IX.4 Caractéristiques géométrique de la gare . . . 93
IX.5 Description de la gare . . . 93
IX.6 Conclusion . . . 94

X Devis Estimatif et Quantitatif **96**

Conclusion Générale **100**

XI ANNEXES **101**

ANNEXE 01 **102**

ANNEXE 02 **103**

ANNEXE 03 **104**

ANNEXE 04 **105**

TABLE DES FIGURES

I.1 le réseau ferroviare algerien. 15

II.1 Rail à gorge. 19
II.2 rail à double champignon. 20
II.3 Rail à patin. 20
II.4 Traverses en bois 22
II.5 Traverse métallique U 22
II.6 Type de traverses 23
II.7 L'éclissage. 24

III.1 Zone d'étude. 27
III.2 Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe. 29

IV.1 Schéma de raccordement de progressif 33
IV.2 caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements. 40
IV.3 caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements. 45

V.1 La plate-forme saharienne septentrionale qui forme la majorité du tracé . . 51
V.2 Carte géologique de la plate-forme saharienne septentrional (Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000) 52
V.3 Carte géologique de la dorsale du M'zab (SCG, 1951) 53
V.4 Carte du relief général du tronçon Ghardaia-Ouargla. 54
V.5 Carte de zonage sismique de l'Algérie (Réf : RPA 99 version 2003) 55
V.6 Le relief général de la zone de Chebka de M'zab(PK15+000 au PK 28+700) 58

VII.1Cercle de glissement de remblai 76
VII.2Cercle de glissement de déblai 76

VIII.1 Températures et précipitations moyennes de Ghardaïa 81
VIII.2 Températures et précipitations moyennes de Ouargla 82
VIII.3 Caractérisation pluviométrique de la zone traversée par le projet de Ghardaia – Ouargla (moyenne sur la période 1986-2005) 83
VIII.4 Dalot 88
VIII.5 Le profil en travers hypothétique de fosse 88

LISTE DES TABLEAUX

IV.1 Valeur minimale de l'alignement recommandé. 33
IV.2 valeur limite du dévers pratique. 35
IV.3 valeur limite du dévers en fonction du rayon R 36
IV.4 valeur limite de l'insuffisance de dévers I 36
IV.5 valeur limite pour l'excès de dévers 37
IV.6 Récapitulatif des valeurs limite de paramètres d'axe 37
IV.7 Les résultats de calcul pour notre axe en plan. 38

V.1 les essais de reconnaissance géotechnique (essais in situ) 59
V.2 Résultat d'essai CBR 61
V.3 Classification du sol. 62

VI.1 détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719). . 69
VI.2 Épaisseurs des composants de la structure d'assise 70

VII.1 Déblai 72
VII.2 Remblai 74
VII.3 Tableau des curbatures 76

VIII.1 Pluviométrie 81
VIII.2 Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation, au niveau de la station de Ghardaïa, période 1990 - 2019. 82
VIII.3 valeurs du paramètre « a » selon la période de retour. 83
VIII.4 valeurs du paramètre « b » selon la station. 83
VIII.5 Coefficient C_1 dépendant de la pente du bassin versant 85
VIII.6 Coefficient C_1 dépendant de la nature du sol (perméabilité) 85

VIII.7 Coefficient C_3 dépendant de la couverture végétale du bassin versant . . . 86
VIII.8 Caractéristiques des paramètres de bassins 86

X.1 Devis estimatif et quantitatif 98

INDRODUCTION GÉNÉRALE

Le transport représente un des piliers fondamentaux du développement durable et de la prospérité de tout pays. Des systèmes de transport efficaces et des réseaux modernes sont donc une nécessité pour le développement économique et social, la production à grande échelle, le bien être et la préservation de l'environnement. C'est dans cette optique que le déplacement des hommes et le transport des marchandises tiennent depuis toujours une place essentielle dans le fonctionnement des sociétés.

Le transport par rail fut au coeur de 1'ère industrielle, jouant un rôle central dans le développement économique des pays. Il représente la première grande innovation en technologie de transport terrestre. Le transport ferroviaire est un mode de transport alternatif à la voiture qui a évolué de train à la vapeur au TGV (train à grande vitesse) dont ça a permis de raccourcir les distances et placer le transport ferroviare au stade actuel. Cela dit, il continue de progresser.

Le développement du transport ferroviaire est aussi une volonté pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre comme le CO2. Le transport ferroviaire est en mode de déplacement écologique et propre que le transport routier, mais pas encore totalement. En et, grâce aux nouvelles technologiques, il n'émet plus de gaz, mais continue de fonctionner sur la base de l'énergie électrique, le mode de production de cette dernière étant encore polluant.

Suivant cette phylosophie, les pays du monde nottament l'Algérie a pensé de raffrichir ce mode de transport et l'apporter plus d'attention pour donner un coup de pouce au développement social et économique. Un des plans programmés pour cet effet, la boucle Sud-Est qui relie plusieurs wilays nottament Djelfa, Laghouat,Ghardaia,Ouargla et ElOued.

Dans les chapitres qui suivent de ce travail, on va traiter l'étude APD de la nouvelle ligne ferroviaire qui relie Ghardaia a Ouargla sur un linéaire de 160 kms en effectuant plusieurs études tel que l'étude géométrique, géotechnique et hydraulique, suivies par la

conception de la gare de ZELFANA.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

I.1 Aperçu général sur les transports en Algérie

L'Algérie possède un système de transport très étendu utilisant l'ensemble des modes : routier, ferroviaire, maritime, aérien , le cabotage national et enfin le transport par canalisation des produits d'hydrocarbures.

I.1.1 Le transport routier

Le réseau routier national, le meilleur du Maghreb, représente un linéaire d'environ 1 439 km en 2x3 voies. Il s'agit du troisième réseau autoroutier au niveau africain après celui du Maroc et d'Afrique du Sud. avec La vitesse maximale autorisée sur l'ensemble du réseau est de 120 km/h. Il faut souligner que l'essentiel des transports est assurée par le réseau routier qui supporte 87% des volumes transportés.

I.1.2 Le transport ferroviaire

Jouant un rôle important pour la desserte des ports et des grands centres urbains de la bande côtière. Il a évolué en rapport avec les activités agricoles, minières et industrielles, la croissance et le déploiement des populations et en réponse également à des exigences de défense nationale. Les lignes principales sont proches de la côte et pratiquement parallèles à elle, mais le réseau comporte aussi des ramifications reliant des zones moins développées ainsi que des pénétrantes desservant les gisements miniers. Il existe également un trafic important de banlieue au niveau des principales villes du Nord (Alger, Annaba et Oran).

I.1.3 Le transport maritime

Constituant un secteur stratégique, qui assure la quasi-totalité du commerce extérieur. Il a connu une remarquable croissance depuis l'indépendance. Les activités portuaires hors hydrocarbures sont importantes à Alger (30 % du total) ; les ports situés à l'Est (Annaba, Skikda, Béjaia) traitent ensemble 50 % de ce trafic et à l'Ouest les ports d'Oran et de Mostaganem en traitent 13 %.Les ports d'Arzew/Bethioua sont affectés exclusivement au transport des hydrocarbures.
Le cabotage national se limite essentiellement à l'alimentation de certaines régions côtières déficitaires en produits pétroliers et en GPL (Alger, Oran et Béjaia) ; il s'effectue à partir de Skikda pour les produits pétroliers et d'Arzew pour les GPL.

I.1.4 Le transport aérien

Domestique a son importance pour le désenclavement de certaines régions du pays, notamment dans le vaste Sud où les densités de population sont très faibles. Les services

aériens intérieurs « opèrent sur environ 65 relations » sont surtout centrés sur la capitale dont l'aéroport, à lui seul, traite les 2/3 des vols enregistrés. Les services internationaux réguliers sont quasiment assurés à partir des 4 principaux aéroports du Nord : Alger, Oran, Constantine et Annaba et couvrent l'Europe, les pays du Maghreb, le Moyen- Orient et l'Ouest de l'Afrique

I.2 Importance du Chemin de fer

Le transport ferroviaire possède un impact indéniable sur la croissance. Il est le complément essentiel aux autres modes. Peu polluant, plus sûr, plus économique en termes d'énergie, il s'intègre parfaitement dans l'environnement ; il joue un rôle indiscutable dans l'aménagement du territoire et le désenclavement des zones déshéritées. Aussi, doit-il mériter un intérêt prioritaire pour sa sauvegarde, son extension, et l'amélioration de ses performances. Dans la compétition des divers moyens de transport, le chemin de fer garde des atouts nombreux et importants et notamment ceux relatifs à :

— la régularité et la ponctualité,
— la rapidité et le confort,
— la sécurité, etc.. . .

I.3 Le réseau ferroviaire algérien

Construit à partir de 1858 avec l'ouverture de la ligne d'Alger à Blida , le réseau algérien est l'un des plus performants d'Afrique du Nord , en dépit de vicissitudes liées à la miltiplicité des écartements , et a un statut administratif complexe légué par l'histoire du pays . une fois construit , il forme un ensemble cohérent et trés performant raccordé à ses voisins du Maroc et de la Tunisie , Il donne à l'Afrique du Nord un réseau tout aussi dense et efficace que celui de l'Afrique du Sud ; et assure , de mém manière , un developpement économique exemplaire .

I.4 Structure actuelle du réseau ferroviaire

Le chemin de fer algérien date de la seconde moitié du 19ème siècle. A l'heure actuelle, la longueur totale du réseau exploité est de 4.219 km dont 3.138 km en voie normale avec 301km de voie électrifiée, 345 km exploités en double voie et 1.081 km en voie étroite.

En matière de cantonnement, 160 km du réseau sont équipés en bloc automatique lumineux double voie ; 125 km équipés en bloc manuel double voie ; 137 km en bloc manuel de voie unique et 136 km équipés de compteur d'essieux.

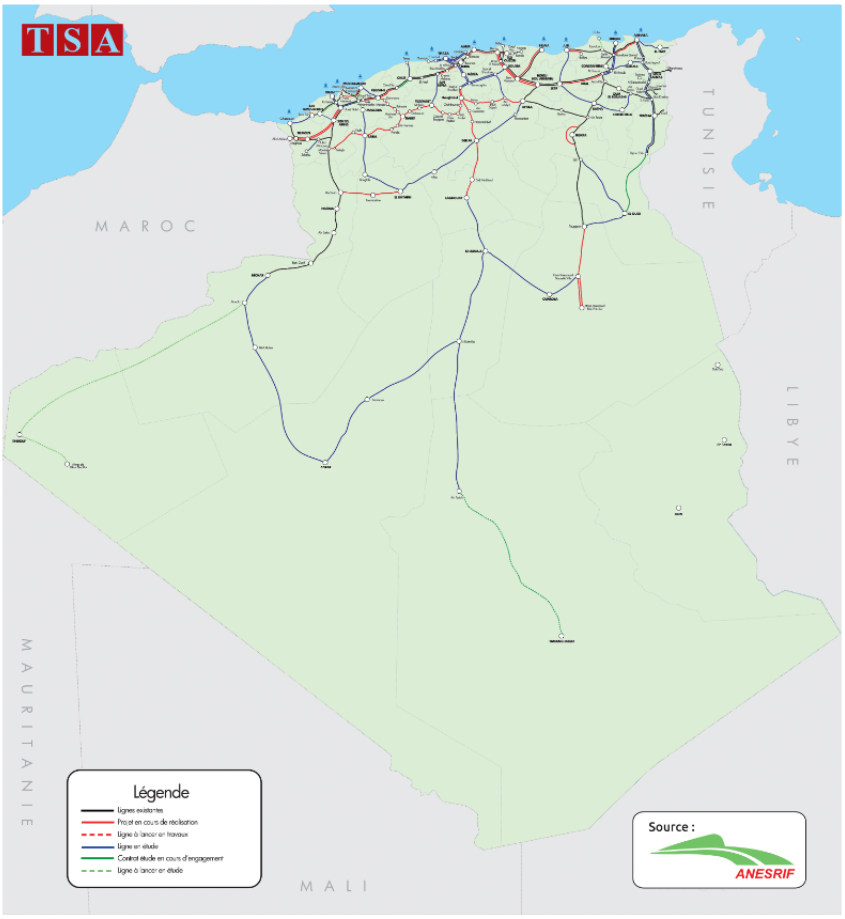


FIGURE I.1 – le réseau ferroviaire algerien.

La signalisation en gare est assurée par 261 postes d'aiguillage de diverses générations (de 1950 à 1995).

Il subsiste encore sur le réseau, 98 postes électromécaniques datant de 1950 pour lesquels la pièce de rechange n'est plus disponible, et 90 postes mécaniques datant des années 1920.

I.5 La lutte contre l'ensablement des voies ferrées constitue un problème particulier

Dans les zones désertiques, au relief peu accentué, les grandes aires dénudées sont propices à la circulation du vent. Une voie ferrée à niveau, en remblai ou en déblai, peut créer une zone locale de turbulence qui entraîne des dépôts de sable éolien, parfois très importants.

Le projeteur doit détecter ces zones dès que possible afin que le tracé de la ligne les évite le plus possible. Néanmoins, si d'autres contraintes plus impératives obligent la voie ferrée à traverser ces régions, il y a lieu de prendre certaines précautions résumées ci-dessous :

1. *Fixation du sable* : Parfois très loin de la voie ferrée pour éviter la création dunes mouvantes (barkanes)

   Cette fixation peut être obtenue
   - Par des plantations notamment des oyats si les conditions climatiques s'y prêtent,
   - Par des recouvrements face au vent (cailloux, pierrailles),
   - Par des revêtements en mailles de $2m \times 2m$ de tresses d'herbes séchées,
   - Par la création d'une croûte fuel lourd,

2. *Création d'écrans* : Ces écrans placés le long de la voie ferrée, à environ 100m de celle-ci face au vent, créeront une zone privilégiée d'accumulation du sable, qui protègera la voie ferrée pendant un certain temps.

   Ces écrans peuvent être constitués :
   - De simples palissades,
   - De vieux rails dressés verticalement avec des traverses usagées,
   - De plaques de béton,
   - De merlons en sable protégés par des cailloux,

Dispositifs pour éviter l'accumulation dans les zones de la voie ferrée

Il s'agit en fait d'éviter les zones de turbulence favorisant l'amenée de sable et son dépôt.

Le meilleur moyen est de poser la voie ferrée légèrement en remblai, en la protégeant de part et d'autre par des talus de très faible pente (de l'ordre 10 %).

La voie constitue alors un très faible obstacle et le sable ira se déposer plus loin.

Dans le cas d'une voie en déblai, sa protection est plus difficile. La création d'un écran incliné parallèle à la voie ferrée qui a pour but d'accélérer le vent, peut apporter une solution.

De toute façon, des systèmes d'évaluation du sable doivent être mis en place (main d'oeuvre, engins spécialisés) pour nettoyer la voie périodiquement.

La région d'étude fait partie du périmètre du grand erg oriental, notant que ce dernier couvre les 2/3 de la Wilaya de Ouargla. De par sa situation géographique très délicate, le vent met en mouvement d'importantes quantités de sable qui encombrent les infrastructures et particulièrement les routes et les voiries qui constituent un moyen de communication vital pour cette région. Une voie ferrée à niveau, en déblai ou en remblai, peut créer une zone locale de turbulence qui entraine des dépôts de sable éolien, parfois très importants.

A Ouargla, on trouve un paysage caractérisé par des dunes de sable peu ondulées, interrompues par des chotts. La surface du sol est partiellement très salifère et recouverte de sable de gros grains. Les dunes considérées comme stable peuvent être « fêlées » lors des travaux de terrassement nécessaire pour la construction du tracé et devenir ainsi instable. Dans cette mesure, les déblais de terrain éventuellement nécessaires devront être exécutés à plat et il faudra prévoir des mesures de protection contre le déchargement de sable.

Le paysage à Ouargla est composé de zones protégées contre le mouvement de sable. Celles-ci sont par endroits recouvertes de pierres concassées qui les protègent contre l'ensablement.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE LA VOIE

II.1 Les rails

II.1.1 Différents profils

La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée éphémère ; seuls , en effet , le double champignon et le rail Vignole ont été largement utilisés , il convient d'y ajouter un profil à gorge qui permet de poser les voies en chaussées en particulier dans les ports .
Tout ces profils prossédent en commun des éléments suivant : à la partie supérieure le champignon qui supporte les contacts des roues ; l'àme , partie médiane amincie ; le patin , la partie inclinées de champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses . le champignon du profil à gorge , comporte en outre , l'equivalent d'un coutre-rail qui permet la circulation en chaussée des boudins de roues .



FIGURE II.1 – Rail à gorge.

II.1.2 Le rail à double champignon

le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec le champignon supérieur et chapignon inférieur . Dans l'idée de ses promoteur ce profil pouvait étre réutilisé par retournement aprés usure du chapignon supérieur .

Le rail à double champignon est fixé sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte dans lesquels il est serré par des coins élastique , en général métaliques , pat fois en bois , à l'heure actuelle , on n'utilise plus en pose neuve le rail à double champignon .



FIGURE II.2 – rail à double champignon.

II.1.3 Rails à patin

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole , se caractérise par une basse élargie qui permet une fixation facile sur la traverse . Il évite les nombreux inconvénients du rail à double champignon :

— fixation dans des coussinets en fonte
— encochage du champignon inférieur
— défficulté de conservation du dressage

Il est fixé sur les traverses , soit directement , soit par l'intermédiaire de selles métaliques , sa forme est largement conditionnée par la nécessité d'assemblage des rails entre eux , c'est-à-dire par le problème de l'éclissage , ce qui conduit souvent , dans les raccordements entre champignon et âme , à une forme contradictoire avec une bonne résistance du profil aux efforts.



FIGURE II.3 – Rail à patin.

II.2 Acier à rail

les principales quelités exigées de l'acier à rail sont les suivantes :

— Résistance à l'abrasion

— Absence de fragilité

— Soudabilité en vue de la confection de barres de grande longeur

II.3 Traverses et Attaches

II.3.1 Pose sur traverses

La transmission des efforts entre rail et ballast se fait par des traverses qui assurent en meme temps le maintien de l'écartement. Les traverses jouent un triple role :

— transmission des charges du rail au ballast ;

— maintien de l'écartement des deux files de rails ;

— maintien de l'inclinaison au 1/20 du rail Vignole ;

Le choix d'un type de traverse résulte avant tout d'un calcule économique , que l'on peut résoudre par un bilan actualisé dans lequel on fait intervenir les éléments suivants :

— prix d'achat de la traverse et des dispositifs ou d'isolement spéciaux qu'elle impose

— durée de vie

— frais d'entretien actualisés sur la durée de vie totale

II.3.2 Les traverses en bois

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



FIGURE II.4 – Traverses en bois

II.3.3 Traverses métalliques

La traverse métallique est un produit industriel de fabricaton simple. Elle est constituée d'un laminé en forme d'U renversé, embouti à ses extrémités, pour forme des bêches qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie.

Le rail est fixé au moyen de crapauds qui appuient sur le bord du patin. Ces crapauds sont serrés par des écrous visés sur des boulons et la combinaison de deux ou trois modèles permet de réaliser une gamme progressives d'écartement de la voie. On peut également adapter des dispositifs élastiques.

La traverse métallique est relativement légère (50 kg) et facile à poser. Mais cette légèreté même la handicape dans les voies à circulations lourdes et trés rapides. Elle est bruyante et , étant conductrice, ne permet d'isoler une file de rails par rapport à l'autre qu'au prix de dispositifs d'isolement spéciaux.



FIGURE II.5 – Traverse métallique U

II.3.4 Traverses en béton armé

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

L'utilisation des traverses en béton est en nette augmentation, tant à cause de leur qualité intrinsèque que pour le prix élevé des traverses en bois. Les traverses en béton, par leur poids important, assurent un bon ancrage de la voie dans le ballast. Elles sont en particulier utilisées pour les lignes nouvelles à grande vitesse. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositifs isolants en caoutchouc.

Il en existe de deux types :

— Traverses bi-bloc

— Traverses monobloc



(a) Traverse monobloc



(b) Traverse bi-bloc

FIGURE II.6 – Type de traverses

Le nombre de traverses par kilomètre est de 1666 (le travelage est de 0.6m). Il faut noter que dans les secteurs en pleine courbe, il est nécessaire d'ajouter des traverses supplémentaires afin d'empêcher les mouvements de la voie. En conséquence, l'épaisseur et la largeur de ballast doivent être ajustées

II.4 L'éclissage et les longs rails soudés (L.R.S)

II.4.1 L'éclissage

L'éclissage permet d'assembler deux rails consécutifs. Il doit satisfaire aux quatre conditions suivantes :

— Relier les rails de façon qu'ils se comportent comme une poutre continue en alignement et en nivellement,

— Avoir une résistance à la déformation qui approche d'aussi près que possible celle des rails qu'il assemble,

— Empêcher les mouvements verticaux ou latéraux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation,

— Être aussi simple que possible et composé d'un minimum d'éléments.

Les éclisses supportent des efforts importants. Lorsque l'essieu arrive au voisinage du joint, l'extrémité du rail amont tend à fléchir comme une poutre en console ; cette flexion est contrariée par la présence de l'eclisse qui reçoit ainsi une charge vers le milieu de sa portée supérieure et la reporte sur le patin des rails encadrants par les extrémités de sa portée inférieur, il en est de même lorsque la roue a franchi la lacune.



FIGURE II.7 – L'éclissage.

II.4.2 Les longs rails soudés (L.R.S)

Le rail sera livré au moins en barre unitaire de 18 m de long, lesquels seront assemblées en atelier par soudure électrique en barre de 288 m

Ces barres de 288 m seront par la suite assemblées en voie en long rail soudé grâce à des soudures aluminothermiques. Les soudures aluminothermiques seront réalisées par des soudeurs agréés.

Selon les températures ambiantes dans la région de Gherdaia, lesquelles varient de +5° à +50°, la température idéale de pose ou température neutre devra être déterminée. Cette température neutre reflétera l'état de contraintes nulles dans lequel le rail devrait se trouver lors de sa pose en voie. Le choix de cette température neutre permettra d'éviter :

1. D'une part les ruptures de rail liées à une importante compression interne du rail (contraction trop importante du rail) et qui pourraient se produire durant les périodes les plus froides.
2. Et d'autre part, les flambages ou ripages de la voie occasionnés par de trop importantes dilatations thermique du rail et qui pourraient se produire lors de températures élevées extrêmes.

Le procédé ou mode opératoire à respecter lors de l'exécution de soudures aluminothermique définira dans le détail les conditions sous lesquelles ces soudures seront réalisées

ainsi que la consignation à mettre en œuvre pour assurer la traçabilité d'exécution des soudures.

Bien entendu, il est nécessaire que la fixation du rail sur les traverses soit efficace(Résistance au glissement) et que la résistance longitudinale et transversale ainsi que la rigidité du châssis de la voie dans le ballast soient suffisantes .Evidement, on ne doit pas réaliser en LRS sur les zones instables (argile, remblai non compacts, etc.) les LRS seront interrompus et remplacés par rails posés a joint éclissés.

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

— une réduction des coûts d'entretien de la voie.

— une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

Les inconvénients largement compensés par les avantages, sont par exemple :

— nécessitant un personnel bien formé leur de mise en œuvre et leur de l'entretien

— un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres.

CHAPITRE III

PRÉSENTATION DU PROJET

III.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 100 km/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.

III.2 Localisaton de projet

Notre projet intitulé « étude de la ligne ferroviaire entre la ville Ghardaia et Ouargla sur une longueur de 22 km du PK 15+000 au PK 37+000». Se situé dans la wilaya de Ghardaia. La réalisation de ce projet a pour objectif le maillage et la densification du réseau, le rapprochement et le désenclavement des villes. Il constituera un plus pour l'économie régionale autant qu'elle présente la meilleure offre de transport dans ces régions.

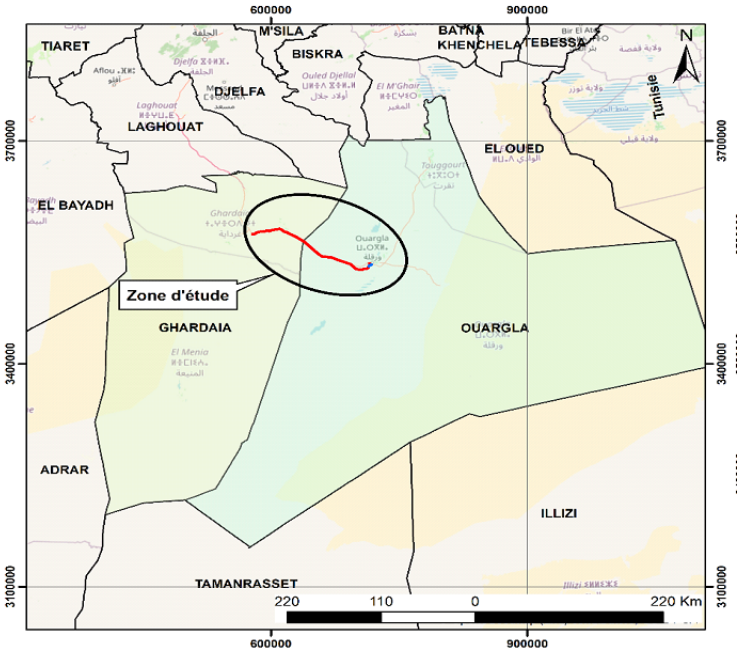


FIGURE III.1 – Zone d'étude.

III.3 Sites d'implantation

III.3.1 La ville de Ghardaia

III.3.1.1 Introduction

Ghardaïa est une commune de la wilaya de Ghardaïa en Algérie, dont elle est le chef-lieu, située à 596 km au sud d'Alger, elle est la capitale de la Vallée du Mzab. Ghardaïa l'enchanteresse est constituée de cinq villes (ksours) : Beni-Isguen, El Atteuf, Bounoura, Melika et Ghardaïa.

III.3.1.2 Transport

La ville est située sur la RN 1 et constitue un relai sur le grand axe méridien Alger ;Laghouat ;Ghardaïa ;Tamanrasset, et le centre de gravité du territoire nord saharien, au point de rencontre des deux grandes "boucles" sahariennes, celle de l'ouest vers Timimoun et la Saoura et celle de l'est par Ouargla et l'Oued .

Ghardaïa dispose d'un aéroport situé à 19 km au sud-est de la ville. Des vols opérés par la compagnie Air Algérie relient Ghardaïa à la capitale algérienne, Alger, et aux villes du Sud algérien : Illizi, Djanet et Tamanrasset.

III.3.1.3 Population

93 423 hab. (recensement de 2008)

III.3.1.4 Climat

Ghardaïa a un climat désertique chaud, avec des étés extrêmement chauds et des hivers doux. La région est marquée par de grandes différences de température entre le jour et la nuit, et l'été et l'hiver.

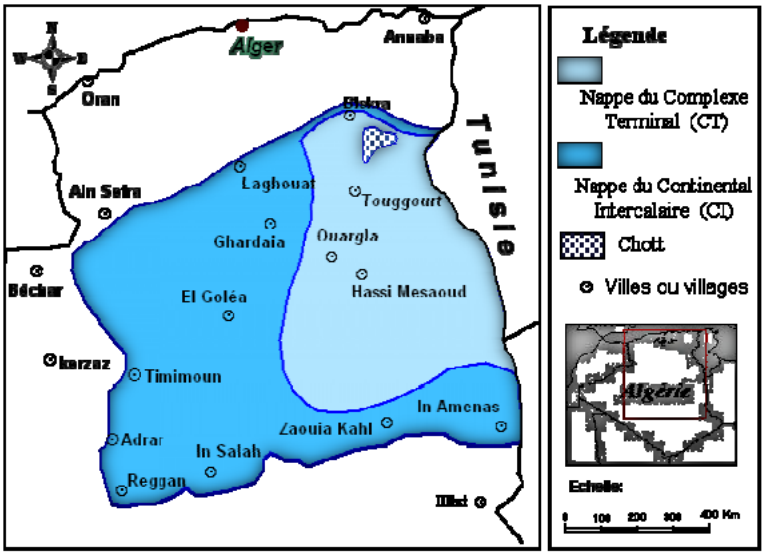


FIGURE III.2 – Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe.

III.4 Avantages et Objectifs de projet

Ce projet présente de multiples objectifs et avantages :

- La préservation et la pérennité des ressources naturelles
- La valorisation et l'optimisation de toutes les potentialités
- La correction des dés équilibres régionaux.
- La correction des dés équilibres régionaux.
- Création et développement de l'emploi
- L'ouverture des régions les unes 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.

III.5 Caractéristiques de notre projet

- Caractéristique de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises)
- Vitesse maximale à prendre en compte dans l'étude :
  - voyageurs : 220 km/h
  - marchandise : 100 km/h
- Type de rail : 60 E1. ‘
- Type de traverse : BI-BLOC
- Ecartement de la voie (standard) :1435 mm ‘
- Rampes et pentes :
  - en pleine voie : souhaitable 1.2 %, maximale 1.6 %

  - au niveau des gares : 00 %
- Largeur de la plateforme : 12m (VOIE UNIQUE)
- Levé topographique (couloire d'étude).
- Logiciel a utilisé dans l'étude « CIVIL3D 21 »
- Électrification en 25 KV / 50 Hz.
- Tonnage supporté : 22,5 tonnes par essieu.
- Tonnage supporté par des ouvrages d'art : 25 tonnes.
- Entraxe des voies principales : 4.2 m.

III.6 Normes appliquées

Les normes appliquées dans l'étude APD du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaia-Ouargla sont :

- L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC),
- Européen Normes (EN),
- Les pratiques en vigueur au sein de la Société Nationale de Transport Ferroviaire en Algérie (S.N.T.F) et la Société Nationale Chemins de fer France (S.N.C.F)

Les normes de l'UIC sont les normes de référence pour la conception de la ligne Ghardaia - Ouargla , les normes européennes sont utilisées là où les normes UIC ne sont pas disponibles.

Les paramètres non précisés dans les normes de UIC et EN sont déduits des pratiques de la S.N.T.F en Algérie et de la S.N.C.F en France.

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉOMETRIQUE DE LA VOIE

TRACÉ 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 générale d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles relié entre eux par des courbes de raccordement progressif. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

- **Vr** : vitesse des trains rapides (voyageurs)
- **VL** : 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)
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessité la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas ou c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien des les endroits les plus étroits ‘
- Eviter les problèmes de talus :
  - **Talus en déblai** : évier :
    - Présence de nappe
    - Terrains plastiques

- Présence de roches fissurées
- **Talus en remblai** : éviter :
  - Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai)
  - Sol très compressible

IV.3 Les élements de tracé en plan

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

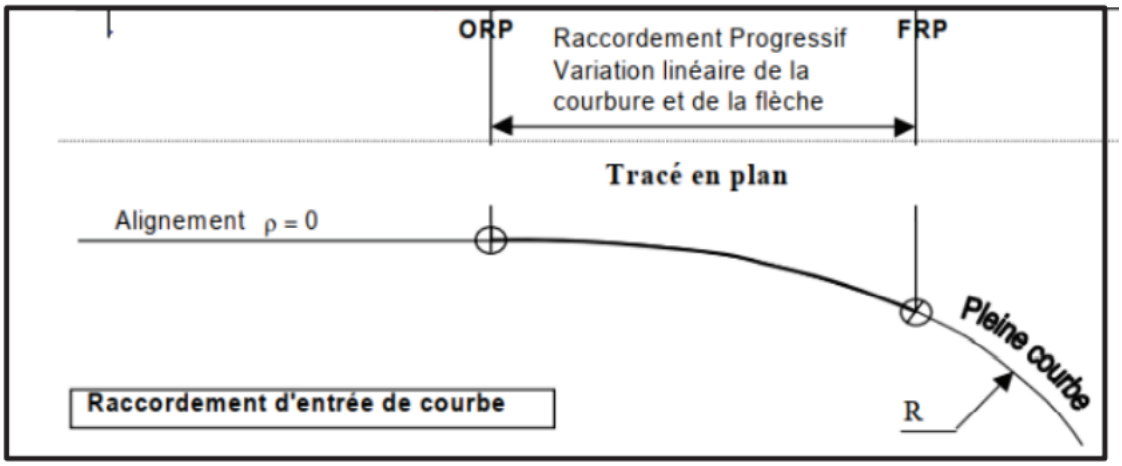


FIGURE IV.1 – Schéma de raccordement de progressif

IV.3.1 L'alignement

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

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

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

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

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 $R = \infty$ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur **R** constante au début de l'arc de cercle. On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant.

IV.3.3.1 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 Conditions de raccordement

1. **Condition de gauchissement :**On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie
2. **Condition du confort optique :**C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.
3. **Condition du confort dynamique :**C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

IV.5 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 surélève le rail ou la file extérieur de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

IV.5.1 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 :

$$tg\alpha = \frac{V^2}{g.R} \tag{IV.1}$$

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».
$d = 2e.tg\alpha = 2e.\frac{V^2}{R.g}$ (2e :écartement de la voie.)
La vitesse V étant normalement exprimée en km/h, la formule s'écrit dans le cas d'une voie à écartement normal :$(2e = 1,5m)$

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

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

IV.5.2 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, $C = 0.006 \times V^2$ 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 :

TABLE 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 :

TABLE IV.3 – valeur limite du dévers en fonction 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.5.3 Notion de l'insuffisance (I) et de l'excès du dévers (E)

IV.5.3.1 insuffisance de dévers 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 d_{th} ,et le dévers pratique d_p : $I = d_{th} - d_p$

Donc : $I = \frac{11{,}8 \times V_r^2}{R} - d_p$

V_r : Vitesse du train le plus rapide en km/h

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

TABLE IV.4 – valeur limite de l'insuffisance de dévers I

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

IV.5.3.2 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 : $E = d_p - d_{th}$

Donc : $E = d_p - \frac{11{,}8 \times V_l^2}{R}$

V_l : Vitesse du train le plus lent en km/h

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

Récapitulatif des valeurs limite de paramètres d'axe

TABLE IV.5 – valeur limite pour l'excès de dévers

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

TABLE IV.6 – Récapitulatif des valeurs limite de 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.6 Application numirique pour le calcul des dévers les paramétres de clothoides

D'après les données de ANESRIF :

Vitesse des trains rapides $V_R = 220km/h$

Vitesse des trains lents $V_L = 100km/h$

Et les formules données dans le cours de Mr.MORSLI :

formule donnant le rayon minimale :

$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{I_{max} + d_{pmax}}$ Avec $d_p = 160mm$ et $I_{max} = 150$

$$0.5 \leq \frac{C}{0.0118 \times V_{max}^2} \leq 0.7$$

$$0.5 \times 0.0118 \times V_{max}^2 \leq C \leq 0.7 \times 0.0118 \times V_{max}^2$$

$$285.56 \leq C \leq 399.784$$

On prend C multiple de 15 : $\Rightarrow 300$

$d_pRmin = \frac{1000 \times C}{R_{min}} = \frac{1000 \times 300}{1850} = 162mm \geq 160mm$

$\Rightarrow R_{min} = \frac{1000 \times C}{d_p R_{min}} = \frac{1000 \times 300}{160} = 1875m$

On prend $\Rightarrow R_{min} = 1900m$

Calculons le dévers théorique :

$d_{thr} = \frac{11.8 \times V_R^2}{R_{min}} = \frac{11.8 \times 220^2}{1900} = 300.6mm$

$d_{thr} = \frac{11.8 \times V_L^2}{R_{min}} = \frac{11.8 \times 100^2}{1900} = 62.10mm$

$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = 157.9 \approx 158$

$$0.5d_{th} \leq d_p \leq 0.7d_{th}$$

$$150.3 \leq 158 \leq 210.42$$

vérifié

$$\begin{cases} E &= d_p - d_{thl} = 158 - 62.10 = 95.9mm \leq 110mm \\ I &= d_{thR} - d_p = 300.6 - 158 = 142.6mm \leq 150mm \end{cases}$$

$L \geq \frac{d_p \times V_{max}^2}{3.6 \times \frac{dd}{dt}_{rec}}$

$L \geq \frac{142 \times 220^2}{3.6 \times 50} = 173.56m$

$\Rightarrow$ On prend $L_{RP} = 200m$

$\frac{Dd}{Dt} = \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times L_{RP}} = \frac{158 \times 220}{3.6 \times 200} = 48.28mm/s \leq 50mm/s$ Vérifié

$\frac{Dd}{Dl} = \frac{3.6 \times Dd}{V_{max} \times Dt} = \frac{3.6 \times 48.28}{200} = 0.79mm/m \leq 0.81mm/m$ Vérifié

$\frac{DI}{Dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{RP}} = \frac{142 \times 220}{3.6 \times 200} = 43.39mm/s \leq 75mm/s$ Vérifié

Le parametre de clothoide A est donné par la formule : $A = \sqrt{R \times L}$

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

IV.6.1 Les résultats de calculs pour notre axe en plan

Avec : $C = 300$

TABLE IV.7 – Les résultats de calcul 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/l)	DI/Dt (mm/m)
3300	173.07	35.76	91	81.07	55.24	111.22	150	703.56	37.07	0.60	33.03
2700	211.53	43.70	111.11	100.42	67.41	135.80	170	677.50	39.94	0.65	36.10
2300	248.31	51.3	130.43	117.88	79.13	159.41	200	678.23	39.85	0.65	36.02
2200	259.60	53.64	136.36	123.24	82.96	166.66	210	679.7	39.68	0.65	35.86

CALCUL D'AXE

IV.7 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.8 Procedes de calcul

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde (fig), cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées. Tout calcul d'axe doit suivre les étapes suivantes :

— 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,

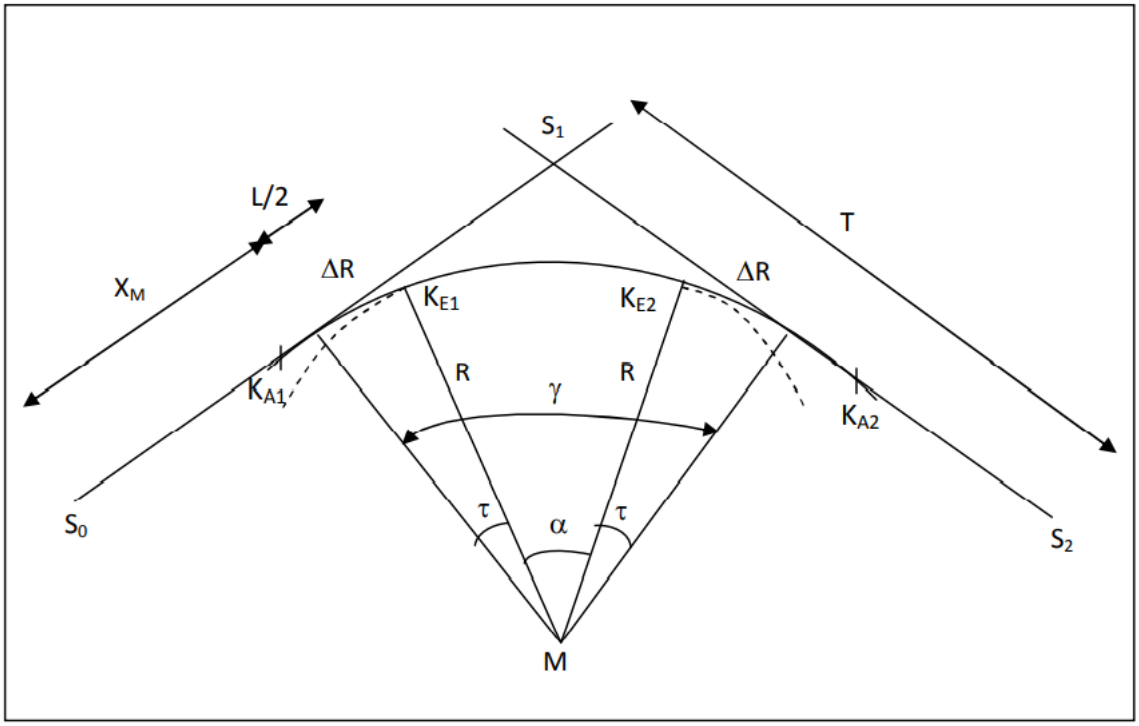


FIGURE IV.2 – caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements.

— Calcul de l'angle polaire s,
— Calcul de α,
— Calcul de La longueur de l'arc,
— Calcul des coordonnées des points singuliers.

IV.9 Exemple de calcul d'axe

D'après le tracé en plan du présent projet, On a choisi le premier virage. Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

— $R = 3300m$
— $A = 703.59m$
— $S_0(593176.0378; 3578687.7953)$
— $S_1(593634.1338; 3578812.1582)$
— $S_2(594107.7789; 3578843.4461)$

1. Calcul de gisement :

$$\begin{cases} |\Delta x_0| &= |x_{S1} - x_{S0}| = 458.098m \\ |\Delta y_0| &= |y_{S1} - y_{S0}| = 124.3629m \end{cases}$$

$$\begin{cases} |\Delta x_1| &= |x_{S2} - x_{S1}| = 473.6451m \\ |\Delta y_1| &= |y_{S2} - y_{S1}| = 31.2879m \end{cases}$$

D'ou :

$G_{S1}^{S0} = tan^{-1}\frac{\Delta x_0}{\Delta y_0} = 81.123$ grad

$G_{S2}^{S1} = tan^{-1}\frac{\Delta x_1}{\Delta y_1} = 95.8007379$ grad

Alors :

$\overline{S_0S_1} = \sqrt{\Delta {x_0}^2 + \Delta {y_0}^2} = 474.6787424m$

$\overline{S_1S_2} = \sqrt{\Delta {x_1}^2 + \Delta {y_1}^2} = 474.6773783m$

2. Calcul de l'angle γ :

$\gamma = G_{S1}^{S0} - G_{S2}^{S1} = 12.7$grad

3. Calcul de l'angle τ :

$\tau = \frac{L \times 200}{2R\pi}$

Avec : $L = A^2/R = 149.998992m$

$\Rightarrow \tau = 1.447$grad

4. Calcul de la tangent T :

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

Avec :

$$\begin{cases} X_m &= \frac{L}{2} \\ &= 74.9995m \\ \Delta R &= \frac{L^2}{24.R} \\ &= 0.284m \end{cases}$$

$\Rightarrow T = 405.28m$

5. Calcul de la distance S_0K_{A1} :

$S_0K_{A1} = \overline{S_0S_1} - T = 474.6787424 - 405.28 = 69.399m$

6. Calcul de la corde S_L :

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

$$\begin{cases} X_{KE} &= L \\ Y_{KE} &= \frac{L^2}{6.R} \end{cases}$$

$\Rightarrow S_L = 150.00m$

7. Vérification de non chevauchement :

   $\tau \leq \gamma/2 \qquad \Rightarrow 1.447 \leq 6.35$

8. Calcul de l'angle polaire σ :

   $\sigma = arctan(Y_{KE}/X_{KE}) = 0.48\text{grad}$

9. Calcul de α :

   $\alpha = \gamma - 2.\tau = 9.806\text{grad}$

10. Calcul de La longueur de l'arc :

    $B = K_{E1}K_{E2} = [\pi R(\gamma - 2\tau)]/200 = 508.31m$

11. Calcul des cordonnées des points singuliers :

    Le ponit K_{A1} :

$$\begin{aligned} X_{KA1} &= X_{S1} - T.sinG_{S1}^{S0} \\ &= 593634.1338 - 405.28sin(83.123) \\ &= 593244.0121m \\ Y_{KA1} &= Y_{S1} - T.cosG_{S1}^{S0} \\ &= 3578812.1582 - 405.28cos(83.123) \\ &= 3578705.971m \end{aligned} \tag{IV.2}$$

    Le ponit K_{A2} :

$$\begin{aligned} X_{KA2} &= X_{S1} + T.sinG_{S2}^{S1} \\ &= 593634.1338 + 405.28sin(95.8007379) \\ &= 594038.5324m \\ Y_{KA2} &= Y_{S1} - T.cosG_{S2}^{S1} \\ &= 3578812.1582 - 405.28cos(95.8007379) \\ &= 3578785.445m \end{aligned} \tag{IV.3}$$

Le ponit K_{E1} :

$$\begin{aligned} X_{KE1} &= X_{KA1} + S_L.sin(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ &= 593244.0121 + 150.sin(83.123 + 0.48) \\ &= 593389.0641m \\ Y_{KE1} &= Y_{KA1} + S_L.cos(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ &= 3578812.1582 + 150.cos(83.123 + 0.48) \\ &= 3578850.367m \end{aligned} \tag{IV.4}$$

Le ponit K_{E2} :

$$\begin{aligned} X_{KE2} &= X_{KA2} - S_L.sin(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ &= 594038.5324 + 150.sin(83.123 + 0.48) \\ &= 593893.4804m \\ Y_{KE2} &= Y_{KA2} + S_L.cos(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ &= 357878.5445 + 150.cos(83.123 + 0.48) \\ &= 3578823.654m \end{aligned} \tag{IV.5}$$

PROFIL EN LONG

IV.10 Définition et conception

Le profil en long est la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé. 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 montée. Un profil en long est constitué d'éléments de lignes droites raccordées par des arcs de cercle en cas de changement de déclivité. La constitution du profil en long est la tache la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique la ou paraitra l'importance des terrassements (Quantité de déblai et de remblai), les ouvrages d'arts ...etc. soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.

IV.11 Ligne rouge et ligne de projet

On appelle le niveau de roulement « la ligne rouge » elle doit être conçue et tracé en respectant les recommandations et les prescriptions suivantes :

1. Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan.

2. Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
3. Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.
4. Minimiser les quantités de déblai et remblai.
5. Se raccorder au réseau existant.

IV.12 Application au projet

— Rayon vertical minimal :$R_{Vmin} = 0.35 \times V_R^2 = 0.35 \times 220^2 = 16940m$
— La déclivité max est de 1.6%
— La longueur maximale de la déclivité maximale est : 3 000m
— La longueur minimale de éléments est :$Lmin = V/2 = 110m$

IV.13 Exemple de calcul des éléments du profil en long

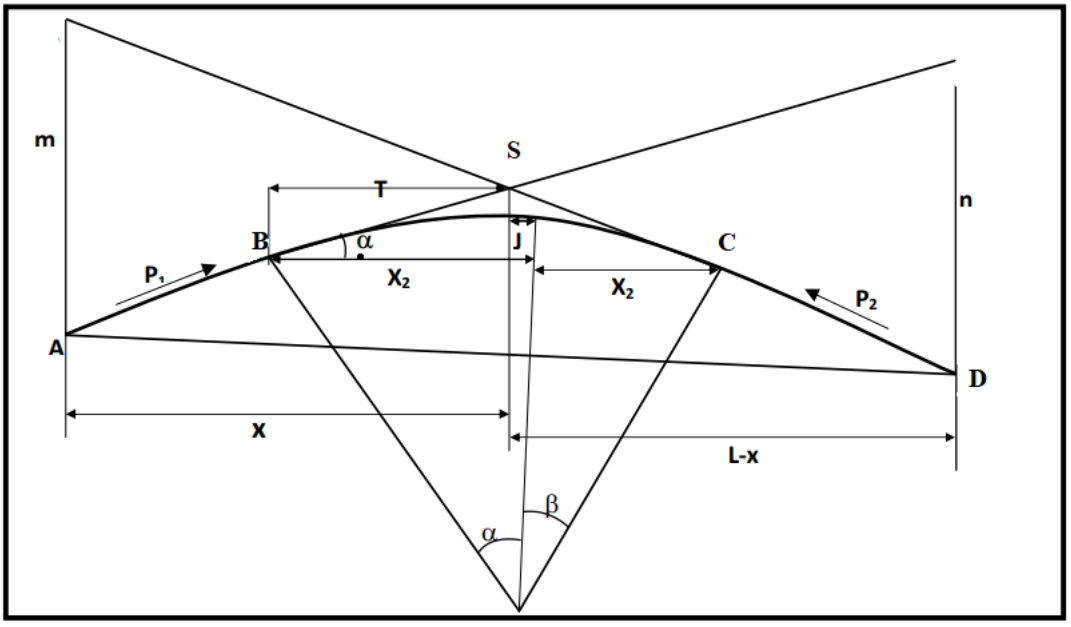


FIGURE IV.3 – caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements.

Le calcul qui suit est fait pour le premier raccordement.
— $R = 37000m$.

— Point A :

$$A = \begin{cases} X_A &= 15425.00 \\ Z_A &= 418.00 \end{cases}$$

— Ponit S :

$$S = \begin{cases} X_S &= 15651.19m \\ Z_S &= 421.309m \end{cases}$$

— point D :

$$D = \begin{cases} X_D &= 15875.00 \\ Z_D &= 422.027 \end{cases}$$

1. **Calcul des pentes :**
   $P_1 = \frac{|\Delta Z_1|}{\Delta X_1} = \frac{Z_S - Z_A}{X_S - X_A} = \frac{421.309 - 418}{15651.19 - 15425} = 1.463\%$
   $P_2 = \frac{|\Delta Z_2|}{\Delta X_2} = \frac{Z_S - Z_D}{X_S - X_D} = \frac{421.309 - 422.027}{15651.19 - 15875} = 0.321\%$
2. **Calcul des pentes :**
   $T = (|p_1 - P_2|) \times \frac{R}{2} = 211.27m$
3. **Calcul de la flèche :**
   $H = \frac{T^2}{2.R} = \frac{211.27^2}{2.37000} = 0.603m$
4. **Calcul des coordonnées des points de tangentes :**
   Le point B :

$$\begin{cases} X_B &= X_S - T = 15651.19 - 211.27 = 15439.92m \\ Z_B &= Z_S - T \times |P_1 \end{cases}$$

   Le point C :

$$\begin{cases} X_C &= X_S + T = 15651.19 + 211.27 = 15862.46m \\ Z_C &= Z_S - T \times |P_2 \end{cases}$$

5. **Calcul de la longueur de la courbe :**
   $L = 2 \times T = 2 \times 211.27 = 422.54m$

NB ! : l'intégralité du calcul à été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D 2021 » et les résultats sont jointes dans l'annexe.

PROFIL EN TRAVERS

IV.14 Introduction

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus, sur le mode d'assainissement et sur les systèmes éventuels de protection de la voie .

Les profils en travers permettent de calculer les paramètres suivants :

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

il y a deux type de profil en travers :

— Profil en travers type.

— profil en travers courant.

IV.15 Les éléments du profil en travers

1. **Eléments de l'infrastructure**
   — La dénomination et les épaisseurs de chaque couche.
   — Les pentes transversales de chaque couche

— La pente latérale de la plate – forme.

2. **Eléments de la superstructure**
   — Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
   — Le type de travers utilisé.
   — Epaisseur de la couche de ballast.
   — La valeur du dévers maximum en courbe.
   — La longueur des butées du ballast.
3. **Eléments du talus**
   — La pente de chaque talus.
   — Les ouvrages de consolidation éventuels.
4. **Eléments d'assainissement**
   — Le type et dimension du fossé des drains

IV.16 Les profils en travers affectés dans notre projet

✓ Type de ligne : Voie unique mixte électrifiée.
✓ Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
✓ Largeurs de la plate-forme :8 m.
✓ Pente latérale de la plate-forme : 4
✓ Largeurs de la berme : 3 m.
✓ Pente latérale de la couche de ballast : 3H/2V
✓ Epaisseur du ballast : 30 cm.
✓ Epaisseur du sous-ballast : 20cm.
✓ Couche de fondation :15cm
✓ Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
✓ Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
✓ Fossé trapézoïdale en terre de 3m de largeur et une pente 4%.

CHAPITRE V

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

V.1 Introduction

Une bonne analyse géologique est un élément fondamental de la qualité d'un projet et de la tenue ultérieure de la plateforme. Il faut donc procéder à un inventaire complet des problèmes géologiques dans la bande retenue afin que le tracé évite les difficultés de cette nature dans toute la mesure du possible.

La zone du projet peut être naturellement stable mais elle peut également présenter certains caractères d'instabilité tels que mouvements de versants (éboulis rocheux, délitage, glissements marneux, coulées boueuses, etc. ...) affaissements ou effondrements.

Le géologue doit donc faire en premier lieu un recensement complet de toutes ces zones en examinant les cartes ; les photos fausse-couleurs et en visitant le terrain

Il faut également apprécier a priori les répercussions des travaux sur le terrain, une zone naturellement stable pouvant devenir instable après travaux. Ce point demande une très bonne connaissance à la fois des techniques de travaux et de la réaction à court et long termes des terrains face à ces travaux

V.2 Géologique de la plate-forme saharienne

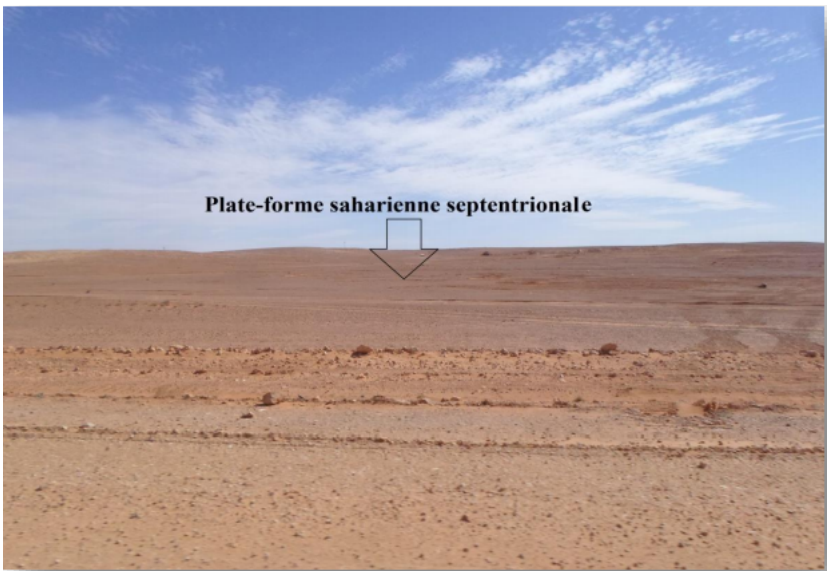


FIGURE V.1 – La plate-forme saharienne septentrionale qui forme la majorité du tracé

Le domaine de la plate-forme saharienne correspond à une immense assise de roches sédimentaires d'âge Secondaire et Tertiaire subhorizontale , reposant en discordance sur un socle primaire (Paléozoïque) fortement plissé et érodé au cours de l'orogenèse hercynienne. L'ensemble de ces assises comble une vaste cuvette synclinale qui forme le bassin du bas-Sahara, ou bassin du Châamba (Conrad, 1948). Le centre de la cuvette est occupé par les dunes du Grand Erg oriental. Par contre le Grand Erg occidental couvre en grandes parties ces bordures occidentales et sous ces dunes de sables le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal à axe situé approximativement le long de la dorsale du M'zab. C'est le domaine du Haut-Sahara (J. Flandrin, 1957). La plate-forme saharienne s'étend du massif cristallophyllien du Hoggar au Sud jusqu'au piémont méridional de la chaine montagneuse de l'Atlas Saharien au Nord. Les deux domaines ; saharien et atlasique, sont nettement séparés par un grand accident structural complexe dit flexure sud atlasique.

Mise à part les affleurements localisés sur le plateau de Tademaït et de Tinrhert au Sud, et le versant occidental de la dorsale du M'zab, le bassin du

bas-Sahara à géologie assez simple, ses traits géologiques en détail ne sont connus que grâce aux sondages profonds de recherche et de prospection des hydrocarbures.

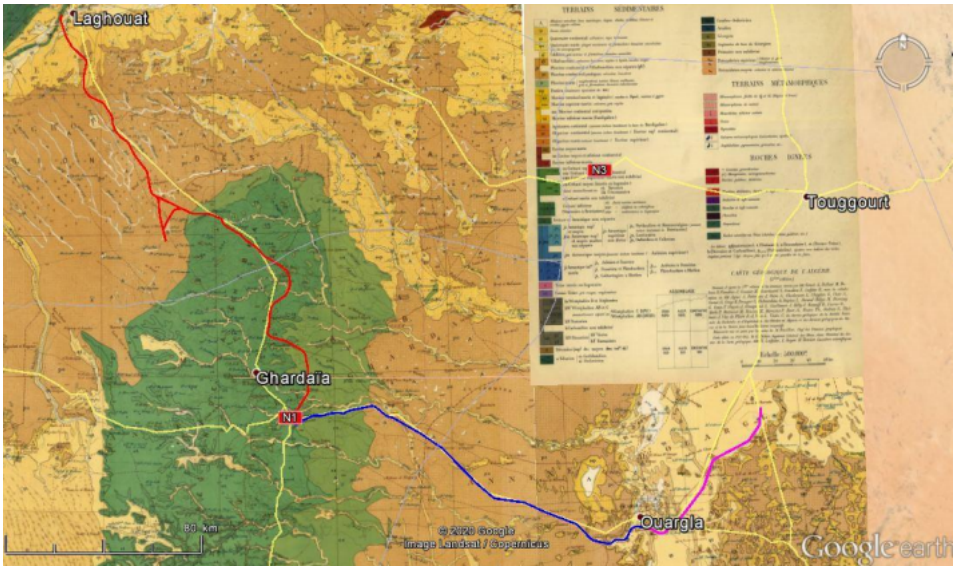


FIGURE V.2 – Carte géologique de la plate-forme saharienne septentrional (Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000)

V.3 Géomorphologie de la région

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (D.P.A.T. (2005) :

La Chebka du M'Zab,

La région des dayas,

La région des Regs,

V.3.1 Chabka du M'Zab

C'est un plateau d'âge Crétacé, rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles et leur pente dirigée vers l'Est.

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable, et n'atteint pas les

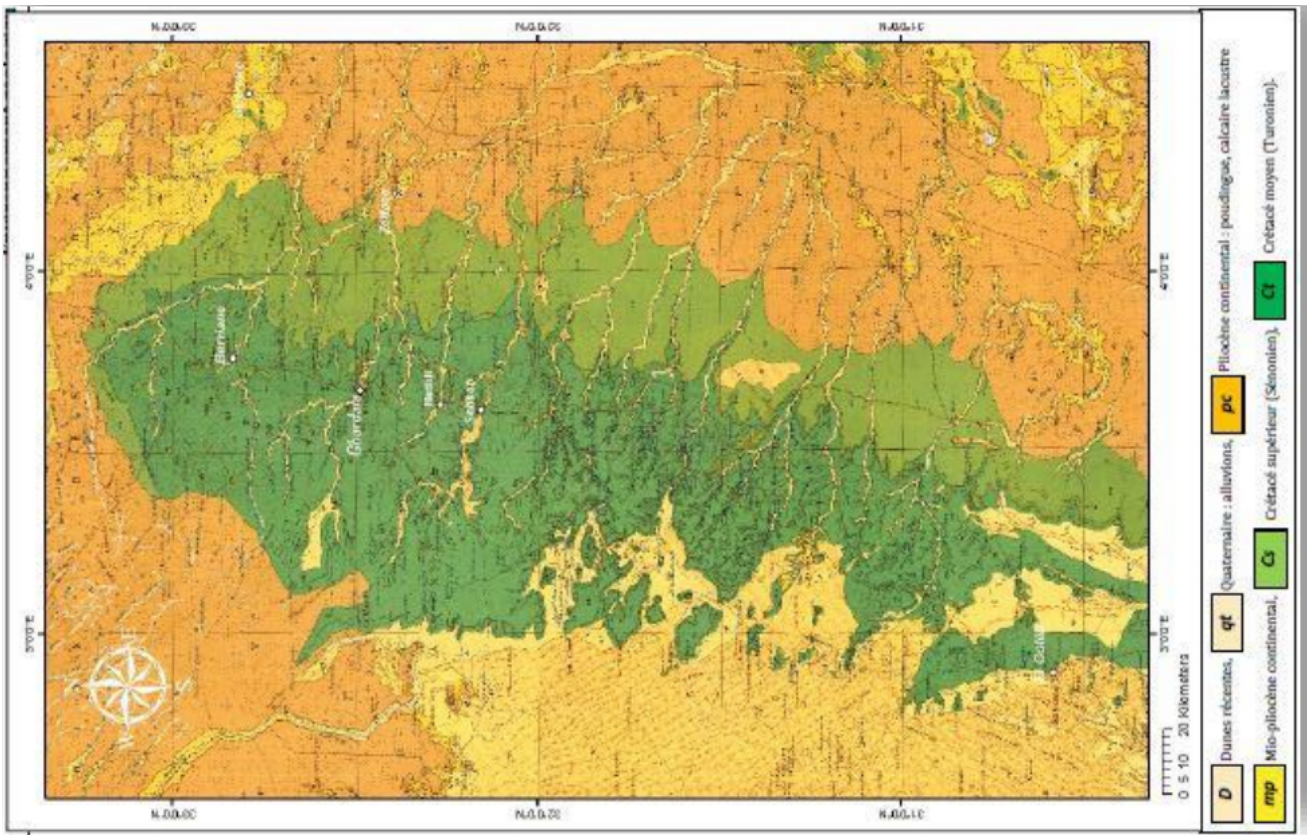


FIGURE V.3 – Carte géologique de la dorsale du M'zab (SCG, 1951)

cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au-dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges.

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km^2, représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement.

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoua et Hassi –Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

V.3.2 Région des dayas

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physionomiques et biologiques qualifiées des dayas.

De substratum géologique Mio-pliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution souterraine qui Entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT-MAHMA., 1997). La région des dayas par sa richesse floristique offre par excellence les meilleures zones de parcours.

V.3.3 La région des Regs

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique Pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux.
Les Regs sont le résultat de la déflation, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf.

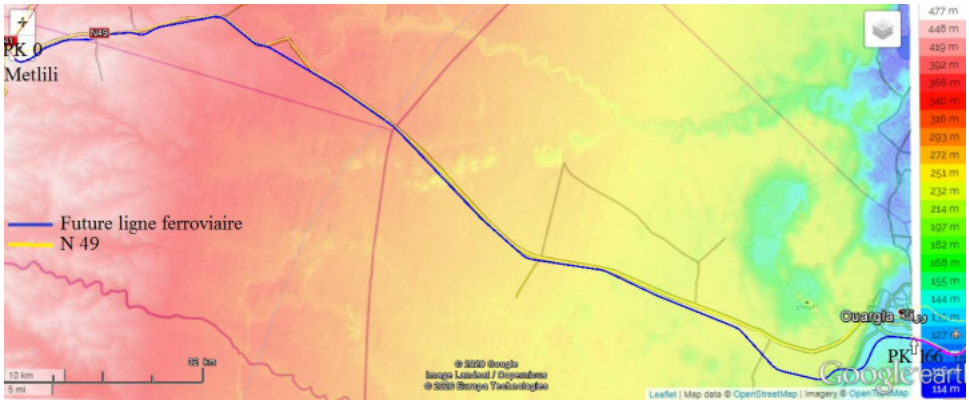


FIGURE V.4 – Carte du relief général du tronçon Ghardaia-Ouargla.

V.4 Cadre sismique

D'après le Règlement Parasismique Algérien (RPA 99/ VERSION 2003), publié par le Centre de Génie Parasismique C.G.S, les wilayas de Ghardaia et Ouargla sont classées comme zone à sismicité négligeable « ZONE I»

Le document technique réglementaire subdivise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante,définies ci-dessous :

- Zone I : sismicité négligeable ;
- Zone IIA : sismicité faible ;
- Zone II b : sismicité moyenne ;
- Zone III : sismicité élevée.

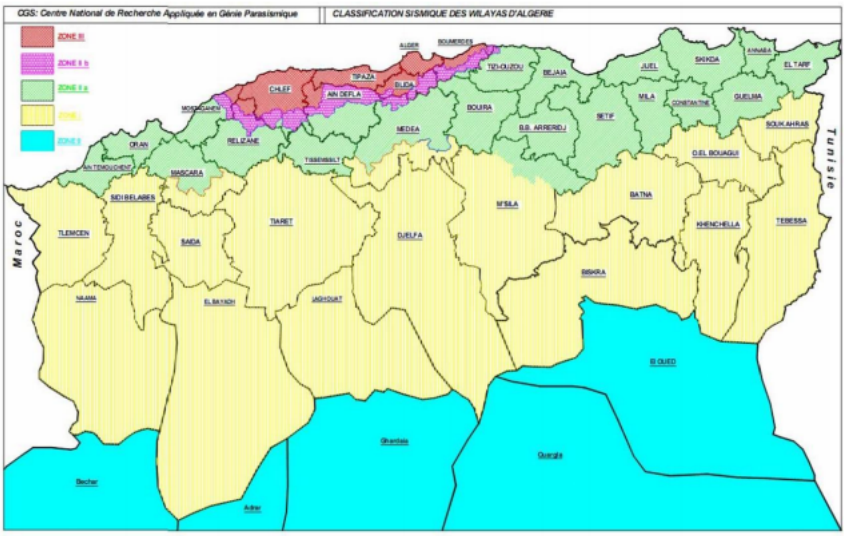


FIGURE V.5 – Carte de zonage sismique de l'Algérie (Réf : RPA 99 version 2003)

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

V.5 Inroduction

Les éléments géologiques recueillis lors de l'étude d'avant-projet doivent étre complétés par des éléments géotechniques préscis permettant des calculs de mécanique des sols . Les prélèvements d'échantillons effectués pendant les campagnes de sondages de l'avant-projet sont complétés par des campagnes spécifiques de sondages carottés dans les zones d'ouvrages d'art et de grands terrassements .

A ce stade de l'étude , l'on désire connaitre les caractéristiques fondamentales des terrains ; par exemple , pour les terrains me ubles on effectue les essais d'identification classiques : granulométrie , sédimentométrie , limites d'Atterberg , équivalent de sable , teneur en eau naturelle .

Ces données serviront à ranger les terrains suivant un classement des sols qui permettra , compte tenu du régime hydraulique de la profondeur de gel et des contraintes d'exlpoitation ferroviares , de déterminer la classe de la plateforme nécessaire au dimensionnement de la structure d'assise afin d'établir une table de correspondance indispensable au mouvement des terres , qui détermine les sols réuttilisables en tous temps , ceux qui sont à mettre en dépot définitif et enfin ceux pouvant etre employés suivant certaines conditions .

V.6 Géologie et Géotechnique locale

La présente section constituera une synthèse géologique et une appréciation géotechnique du comportement attendu des formations traversées par le tracé. Elle sera basée sur l'analyse des résultats de la mission des investigations géotechniques. Les différentes formations géologiques traversées par le tracé ainsi que l'appréciation de leur comportement géotechnique attendu est présenté comme suit :

- Du Pk 015+00 au Pk 34+500

La section du tracé entre le PK 15+000 et le PK 37+000 (F02-F03-F05-F06) se situe au sud-est de la ville de Ghardaïa. Formé par un toit majoritairement constitué d'une couche d'encroutement calcaire, par un substratum constitué d'une couche de calcaire le plus souvent dure recouverte par une couche de calcaire marneux ou parfois quasiment de la marne (excepté pour le F04 : PK20+325) ou en note la présence d'un substratum en conglomérat à ciment argileux surmonté par une épaisse couche de marne argileuse contenant des cristaux de gypse.

- Du Pk 34+00 au Pk 37+00

Cette section située au sud est/sud de la ville de ZELFANA est caractérisée , par une couche superficielle sableuse (sable fin à grossier) contrairement à la première section ou l'encroutement calcaire prédominait les toits de la section.



FIGURE V.6 – Le relief général de la zone de Chebka de M'zab(PK15+000 au PK 28+700)

V.7 Essais in situ

Voici, dans le tableau ci-dessous (Tableau), l'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie :

TABLE V.1 – les essais de reconnaissance géotechnique (essais in situ)

N	**Désignation**	**Normes**	**Objectifs**
1	Sondage Carotté	XP P94-202	- Identification du sol -Distinction des types de formation -Prélèvement des échantillons
2	Essai de préssiométrique	NF P94-110-1	-Détermination des pressions limites et de fluage
3	Essai de pénétration	NF P94-114	Détermination de la succession des différentes couches de sol -Capacité portante du sol

V.8 Essais de Laboratoire

V.8.1 Essai de laboratoire sur sondages carottés

V.8.1.1 Analyse granulométrique et sédimentométrique

Les analyses granulométriques effectuées sur les échantillons prélevés au niveau des sondages dans l'intervalle de profondeur indiquées montrent que les terrains composant lesol de fondation sont constitués par :

- Gros sable
- Sable moyen
- Limon
- Gravier sableux

V.8.1.2 Analyse chimique sommaire

Les analyses chimiques effectuées ont consistés en la détermination des insolubles, sulfates et carbonates des différents échantillons.
Les résultats trouvés se présentent comme suit :
$17.9\ \% \leq$ Insolubles $\leq 94.3\ \%$
$0.36\ \% \leq$ Gypse $\leq 66.13\ \%$

01 % $\leq$ Carbonate $\leq$ 59 %
0.005 % $\leq$ Chlorure $\leq$ 0.167 %
0.12 % $\leq SO_4 \leq$ 14.79 %

V.8.1.3 la densité séche

Les valeurs des densités obtenues sur les échantillons prélevés, ont données des densités comprises entre 1.11 et 2.56 t/m^3, dénotant un sol peu compact à très compact.

V.8.1.4 Essai de compression simple

L'essai de compression simple réalisé sur les prélèvements provenant des sondages a donné respectivement des résistances entre 34 et 59.12 ; dénote des échantillons de bonnes performances mécaniques.

V.8.2 Essai de laboratoire sur prélèvements des puits

V.8.2.1 Analyse granulométrique et sédimentométrique

Les analyses granulométriques effectuées sur les échantillons prélevés au niveau des puits dans l'intervalle de profondeur 00/4.0 m ; montrent que les terrains composant le sol de fondation sont constitués par :
- sable fin, pouvant contenir une proportion de gravier ; trouvé au niveau des puits : PU30, PU33 et PU34 dont le pourcentage des éléments inferieurs à 0.08mm étant de 30 et 50 %

V.8.2.2 Analyse chimique sommaire

Les analyses chimiques effectuées ont consistés en la détermination des insolubles, sulfates et carbonates des différents échantillons.
Les résultats trouvés se présentent comme suit :
10.9 % $\leq$ Insolubles $\leq$ 86.9 %

2.02 % $\leq$ Gypse $\leq$ 31.87 %
06 % $\leq$ Carbonate $\leq$ 36 %
0.018 % $\leq$ Chlorure $\leq$ 0.277 %
0.029 % $\leq$ NaCl $\leq$ 0.455 %

V.8.2.3 L'essai Proctor

Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés, ont données des densités sèches maximum comprises entre 1.58 et 1.94 t/m^3 et Une teneur en eau optimum w_op située entre 4.30 et 9.8%.

a densité sèche maximum donnent des indications précieuses sur la valeur du sol :

— Une densité inferieure à 1.60 t/m^3 caractérise un mauvais sol ;
— Une densité de 1.80 à 1.90 t/m^3 caractérise un sol convenable ;
— Une densité supérieure à 2.05 t/m^3 caractérise un sol excellent.

V.8.2.4 Essai CBR immédiat et imbibé à 4 jours

Le CBR immédiat réalisé sur (05) échantillons révèles une bonne portance, les valeurs sont situées entre 90.5% et 40.0%. L'indice portant, obtenu sur les mêmes échantillons prélevés et imbibés à 4 jours, donne une valeur de 70.5% et 15. %.

TABLE V.2 – Résultat d'essai CBR

Echantillon	PU15	PU19	PU33	PU34	PU36
Immédiat	90.5	60.66	78.96	40.00	80.12
Imbibé à 4 jours	70.5	32.5	30.5	15.5	31.5

TABLE V.3 – Classification du sol.

N puits	**Pk**	**Identification**	**Granulométrie**			**Essai proctor**		**Classification**	
		$W_a(\%)$	D_{max} (mm)	2mm (%)	$80\mu m$ (%)	W_{opn}	δ_d (νm^3)	**GTR**	**UIC**
PU31	15+275	5.67	31.5	30	4	8.10	1.69	D1	QS2
PU32	20+308	6.02	20	91	9	8.60	1.83	D1	QS2
PU33	20+523	4.62	31.5	92	50	6.60	1.76	D1	QS2
PU34	31+830	4.9	10	96	51	7.00	1.94	D1	QS2
PU36	36+475	3.01	20	88	30	4.30	1.84	D1	QS2

V.9 Classification du sol selon les résultats

V.10 Conclusion

L'itinéraire retenu pour la réalisation du projet nouvelle ligne ferroviaire GHARDAIA-OUARGLA et est constitué du haut vers le bas :
Par une couche Sable gypseux brunâtre , d'une puissance varie entre 3.0 et 5.0 m ou par une couche de sable caillouteux d'une épaisseur allant de 1.5 et 4.5 m et qui sont situées au-dessus sable rouge compact à très compact qui commence à apparaître à partir de 3.0 m de profondeur et parfois il est superficiel .et enfin d'un substratum composé du sable grésifié en voie de grésification et même de grés et qui se présente au fond des sondages ; Les études faites dans la région ont montré que cette couche présente une grande épaisseur et s'étend sur l'ensemble de ces zones.

Comme la compacité joue un rôle décisif dans la capacité portante et le tassement d'une fondation ; les résultats des essais SPT effectués sur les sondages et d'après les corrélations de TERZAGHI, on peut dire que le sol investigué est très compact sauf le sol investigué entre 3.0/3.45 m de profondeur aux sondage F-26 GO et qui est moyennement compact tandis que celle rencontré 3.0/3.45 m de profondeur aux sondages F27-GO est constitué d'un sable compact

Lors de la réalisation des sondages carottés nous avons trouvé la nappe

phréatique située dans l'intervalle de profondeur varie d'un sondage à l'autre et généralement qui commence à apparaitre à partir 3.0 m de profondeur.

Par contre lors de la réalisation des puits de reconnaissance, sur une profondeur varie entre 2.50 et 4.0 m ; nous n'avons décelé aucune nappe phréatique ; elle est située à une grande profondeur.

A l'exception d'un point des essais de pénétration dynamique PDL-26-GO ; à partir de 1.5-m de profondeur, nous constatons une augmentation nette de la résistance de pointe sur toute l'épaisseur de la couche des essais réalisés ; elle dépasse 100 bars.et qui correspond à un taux de travail de 3.33 bars.

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés, indiquent que le sol de fondation est agressif vis à vis du béton de l'infrastructure, nécessitant une protection spéciale, Classe A4 c'est-à-dire très fortement agressif comme stipulé dans la Norme NF P 18-011.

CHAPITRE VI

STRUCTURE D'ASSISE ET DIMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIAIRE

VI.1 Structure d'assise

VI.1.1 Rôles des structures d'assise

✓ Répartissent sur la plateforme les charges concentrés qu'elles reçoivent des traverses,

✓ Amortissent une part des vibrations en provenance du contact rail-roue,

✓ Contribuent aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

Elles permettent donc pour une large part d'assurer par leur nature et leur épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

VI.2 Les différentes couches d'assise

VI.2.1 Le ballast

C'est une pierre dure de granulométrie grossière 22.4/63 (utilisée actuellement en Algérie), il provient de concassage des roches, il joue des rôles importants :

- Transmet et tout répartie les charges sur la plate-forme
- Empêcher tout déplacement des traverses
- Amortit les vibrations par dissipation de l'énergie dûe aux frottements
- Grâce à sa granulométrie il assure le drainage et l'évacuation des eaux zénithales
- Facilite au moyen de bourrage –dressage la rectification du nivellement

VI.2.1.1 Caractéristiques mécaniques

1. **Résistance a l'attrition**

Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, ce fait se reproduit en laboratoire sous le nom d'essai (DEVAL), cette résistance est caractérisée par un coefficient deval, a sec deval sec DS, en présence d'eau deval humide DH.

2. **Résistance aux chocs**

   sous l'effet des contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs ,donc pour mesurer la résistance combinée a la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats ,on réalise l'essai LOS ANGELES .Pour un ballast acceptable le coefficient LA doit être inferieur a 25% (LA $\leq$ 25).

3. **La dureté**

   Elle est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance a l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale, un ballast doit avoir pour notre cas, une DRG $\geq$18 (il varie selon la nature des traverses et du trafic).

4. **Résistance a la compression simple**

   Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance a la compression suffisante, elle est mesurée a partir d'un essai en laboratoire, en Algérie (RC $\geq$ 14 KN/cm^2)-(document SNTF)

VI.2.1.2 Profil du ballast

L'épaisseur minimale de ballast mesurée sous traverses a l'aplomb du rail de la file basse, diffère selon l'intensité du trafic et le type des traverses, la SNTF dans notre projet adopte une épaisseur de 30 cm. Le profil du ballast dépend du type de traverses et des rails, cependant, en LRS, le chargement des têtes de traverses avec une certaines hauteur de ballast

($\approx$ 10 cm) augmente la résistance latérale, mieux qu'une sur largeur de la banquette.

VI.2.2 La sous –couche

Mono ou multi –couche, composée de matériaux grenus (sables ou graves) bien gradués qui comportent parfois des tapis de natures diverses : feuilles étanches plastiques (géo membranes) ou feuilles en feutre synthétique anti contaminant (géotextile).

VI.2.2.1 Rôle de la sous–couche

Elle protège la plat – forme contre l'érosion du au poinçonnement exercé par les éléments de ballast, ou a l'action des eaux zénithales, elle la protège aussi contre l'effet du gel, de plus, elle assure une meilleure répartition des charges transmises a la plat –forme.

VI.2.2.2 Constitution de la sous –couche

1. **Sous –ballast**

   Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plates –formes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et contribue a réduire la raideur de l'assise, elle est en grave propre bien graduée 0/31.5 mm comportant au moins 30% du matériau concassé ayant une DRG $\geq$ 12 et compacté a 100% OPN. (La voie ferrée ALIAS.J page 272).

2. **Couche de fondation**

   Elle a lieu si le sol ne remplit pas certaines conditions indiquées plus loin, elle est composée de grave bien graduée d'une épaisseur d'au moins de 15 cm compactée a 100% OPN, la DRG exigée est $\geq$10, cette couche permet la circulation des engins de chantier (la couche « sous -ballast» étant mise en œuvre en fin de chantier).

   S'il y a lieu une couche anti-contaminant en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15 cm, elles sont complétée en outre par une

feuille de feutre synthétique (Géotextile).

Remarque !

Cependant, de telles structures ne rencontrent qu'exceptionnellement, la SNTF adopte pour cette ligne ferroviaire, une seule couche intermédiaire entre le ballast et la plate-forme, elle est formée d'un mélange plus ou moins polluée constituée de matériaux divers.

3. **La plate–forme (couche de forme)**

   Elle est située sur la plate-forme dont la partie supérieure est appelée la couche de forme et qui est inclinée conformément a la sous – couche.

   Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur.

   Située en déblai, elle sera constituée par de fouille, en cas d'un remblai, elle est distinguée du remblai par un taux de compactage plus élevé, dans le cas d'un déblai, cette couche est obtenue généralement par compactage du fond de fouille. Cependant, on peut prévoir ici encore, un apport de sol de meilleure qualité dans les deux cas, on peut également traiter la couche de forme aux liants.

VI.3 Dimensionnement des couches d'assise

VI.3.1 Plate- Forme Proposée

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P3 (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol **QS2**.

VI.3.2 Méthode de dimensionnement adoptée

Le dimensionnement de la couche d'assise et de l'épaisseur de la couche de forme a été effectué en suivant les indications de la fiche UIC 719R.

La définition de la classe de la plateforme suppose la classification préalable aussi bien de la qualité du sol support que de celle des matériaux constituant la couche de forme elle-même (voir le tableau suivant) :

Dans ce contexte et pour homogénéiser la structure d'assise, nous considérons que le sol support est de type QS2 tout le long du tracé.

TABLE VI.1 – détermination de la classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719).

Qualité du sol support	**Classe de la plate forme**	**Qualité couche de forme**	**Epaisseur min de la couche de forme(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	-

VI.3.3 Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir :
Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 est donnée par l'expression suivante :

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

Avec :

- E = (classe de la plateforme P1, P2, P3),

- a = classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).
- b = type et longueur de la traverse
- c = (type de dimensionnement)
- d = (la charge maximale à l'axe)
- g = Géotextile

D'où :

- E = 0,45 m pour une plate-forme de classe de portance P3
- a = 0 pour les lignes de vitesse V≥160 Km/h.
- b = 0.13 cm pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m
- c = 0 pour un dimensionnement normal.
- d = 0,05 m (pour la charge nominal d'essieu de 22.5 ton/axe)
- f = 0 pour une plate-forme de classe de portance P3 , et ligne à grande vitesse.
- g = 0 pas de géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3

L'épaisseur des couches d'assise est : e= 0.63 m ; soit : e= 65 cm

TABLE VI.2 – Épaisseurs des composants de la structure d'assise

Couches	**Matériaux utilisé**	**Epaisseur(cm)**
Ballast	GC	30
Sous-ballast	Grave propre	20
Couche de fondation	Grave sableux	15
Couche de forme de type S3	Grave	35

CHAPITRE VII

LES TERRASEMENTS

VII.1 Introduction

La nouvelle ligne ferroviairene peut pas épouser parfaitement le terrain naturel du fait des caractéristiques géométriques (relief,nature du sol. . .). La ligne se situera soit au niveau du terrain naturel, c'est a dire au-dessus (remblai) ou bien au-dessous (déblai).

VII.2 Déblai

En général, la section type projetée pour le couloir adopte un talus de pente 3H/2V, avec des bermes de 3 m de large tous les 6 m de hauteur . Il sera recommandé de disposer des fossés revêtus dans la berme pour contrôler l'eau d'écoulement et éviter son infiltration dans les déblais.

TABLE VII.1 – Déblai

Pk début	**Pk fin**	**La hauteur max (m)**	**La langueur (m)**	**Type du sol**
16+045	16+350	4.93	421.59	Sable gypseux
17+216	17+361	1.87	145.26	Sable gypseux
23+392	23+538	1.92	144.06	Sable gypseux
31+832	32+274	3.13	442.36	Sable gypseux
34+319	34+961	10.78	650.88	Sable gypseux
35+331	36+094	3.99	759.24	Sable gypseux

VII.3 Remblai

Pour exécution des remblais il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de tout nature et la terre végétale sur une épaisseur suffisante. La largeur de la partie supérieure du remblai (arase terrassements) est fonction :

- La géométrie de la plateforme ferroviaire.
- Type de structure d'assise retenu.

Pour la mise en place, on remblaie d'abord les parties les plus basses ; on dispose les remblais par couches successives de 20cm d'épaisseur pour améliorer compactage et augmenter la cohésion des remblais.

La densité de la crête de remblai ne sera pas inférieure au maximum obtenu dans l'essai Proctor Modifié. La densité de compactage de la fondation, du noyau et des flancs ne sera pas inférieure à 95 % du maximum obtenu par l'essai Proctor Modifié. L'humidité optimale du matériel, immédiatement après le compactage, sera telle que le degré de saturation dans cet instant soit compris entre les valeurs du degré de saturation correspondantes, dans l'essai Proctor Modifié, à l'humidité de moins de deux pour cent (-2 %) et de plus d'un pour cent (+1 %) de l'optimale du cet essai

Il est estimé nécessaire d'utiliser comme référence l'essai Proctor Modifié, où l'énergie de compactage est supérieure à celle de l'essai Proctor Normal, afin de favoriser la rupture des particules qui formeraient le remblai, en réduisant sa structuration.

Avant la construction des remblais, il faudra retirer la couche de terre végétale, de solfaible ou le matériel originaire des anciens remblais, effectuer un scarifiage et compactage du terrain de siège du remblai et substituer par le sol de caractéristiques non inférieures à celle du sol QS1, pour réduire de possibles effondrements.

Il est considéré important que la surface des remblais présente une pente transversale d'au moins 4% afin d'éviter les marécages de l'eau de pluie.

Les surfaces d'appui des remblais doivent accomplir les conditions nécessaires pour éviter l'entrée d'eau. À cette fin, il faudra disposer des tranchées drainantes dans la fondation des remblais dans lesquelles l'affluence d'eaux phréatiques peut se produire sur la surface couverte par eux, et les fossés revêtus aux pieds des remblais qui peuvent être touchés par l'eau de ruissellement.

Les rembourrages avec hauteur H$\geq$10 m, doivent être réalisés avec des matériaux classifiés comme B3 depuis la fondation jusqu'à une hauteur

égale à H-10 m, et avec du matériel classifié comme QS2 ou QS3, dans les 10 mètres supérieurs.

La transition de déblai à remblai sera réalisée avec une pente 3H :1V.

Les remblais se trouvant à proximité des cours d'eau, ou pouvant être affectés par une nappe d'eau en cas de crue, devront être protégés face au creusement au moyen de la mise en place de manteau d'enrochement.

TABLE VII.2 – Remblai

Pk début	**Pk fin**	**La hauteur max (m)**	**La langueur (m)**	**Type du sol**
15+025	15+510	5.42	485.38	Sable gypseux
15+595	16+045	8.03	450.08	Sable gypseux
16+468	17+210	4.22	742.32	Sable gypseux
17+388	19+236	9.07	1848.77	Sable gypseux
20+675	21+975	5.41	1298.82	Sable gypseux
22+200	23+498	5.82	1298	Sable gypseux
23+750	24+921	4.60	1171.37	Sable gypseux
32+275	34+312	7.84	2037.05	Sable gypseux
36+100	36+952	3.63	852.17	Sable gypseux

VII.4 La réutilisation des matériaux en remblai

le sable pourrait être utilisé soit avec un grave, soit avec un tuf calcaire ou gypseux, soit avec un sol argileux. Vu que le sol est majprotaorement de sable gypseux donc il est réutilisable.

Cette réutilisabilité a des aspects économique vu que le sable est partout disponible en quantités inépuisables ; ainsi, son extraction n'engendre pratiquement pas de cout..

Le sable peut aussi contribuer à la densification des matériaux. Donc ; l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.

VII.5 Etude de stabilité des pentes de déblai et remblai

L'étude a été faite a l'aide de logiciel PLAXIS 3D. Les pentes choisies sont de 3/2 avec une berme de 3m tous les 6 mètres.

Les facteurs de sécurité doivent être supérieurs a 1.2 pour assurer une stabilité a long terme. Le calcul sismique est négligé dans cette section car la zone d'étude est d'une faible sismicité.

VII.5.1 Stabilité de remblai

Pour la hauteur la plus grande de remblai, estimée de 9.07 m, avec une pente de 3/2 et une berme de 3m tous les 5 m. On a obtenu un facteur de sécurité de 1.712.

VII.5.2 Stabilité de déblai

Pour le plus grand déblai, estimée de 10.76 m, avec une pente de 3/2 et une berme de 3m tous les 6 m. Le facteur de sécurité est de 1.911.

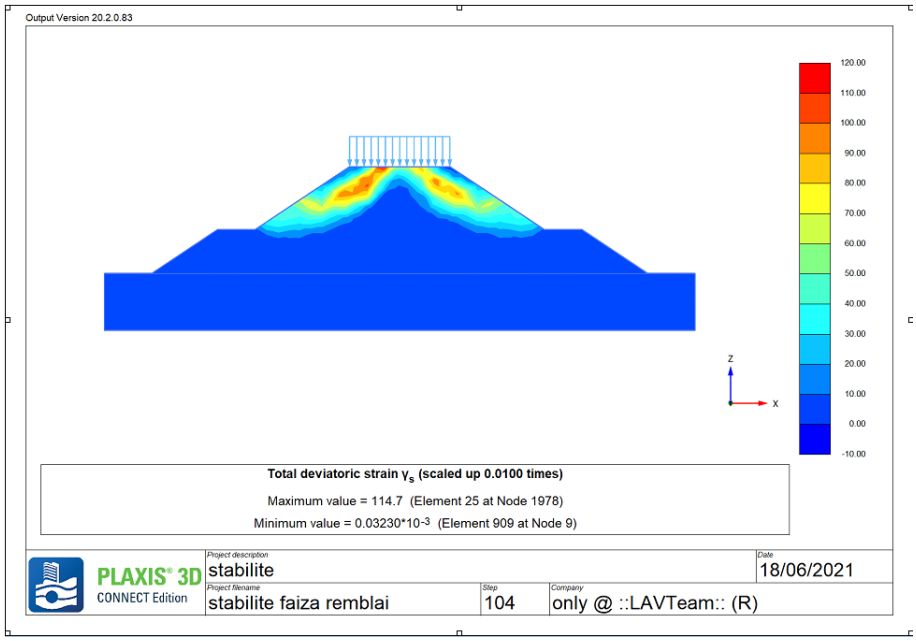


FIGURE VII.1 – Cercle de glissement de remblai

VII.5.3 Cubatures

TABLE VII.3 – Tableau des curbatures

Matériaux	Remblai	Déblai	Volume net	Ballast	Sous-ballast	c-forme	c-fondation
Volume (m^3)	859645.94	830882.44	-28763.5	46200	25777.4	55552.2	21175.4

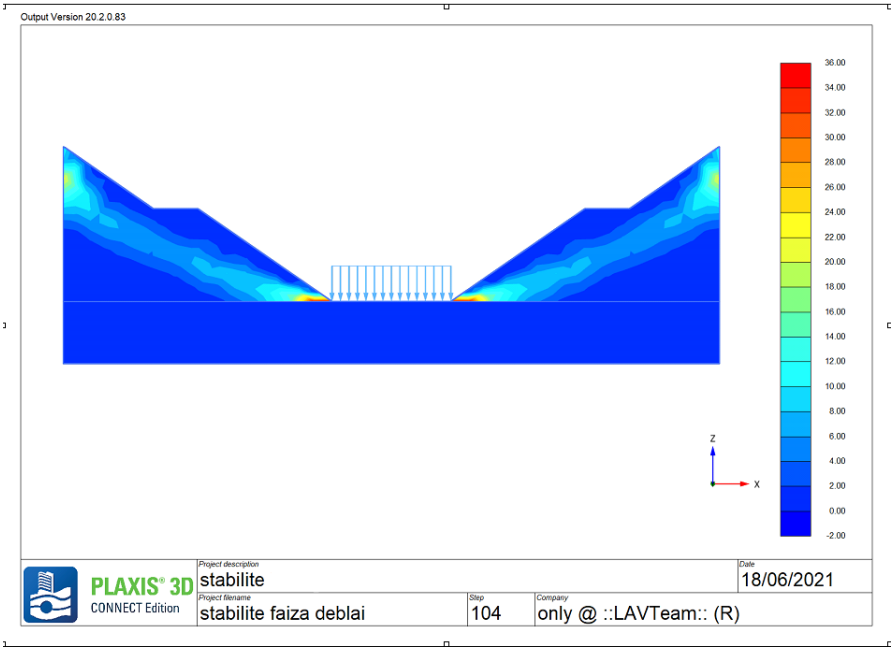


FIGURE VII.2 – Cercle de glissement de déblai

VII.5.4 Conclusion

L'étude des terrassements permet toujours a évaluer le risque de glissement vis a vis les talus pour assurer une meilleure sécurité, donc, une meilleure utilisation de l'ouvrage. Ainsi, la détermination de l'emprunt des matériaux qui occupe une partie importante du devis quantitatif estimatif.

CHAPITRE VIII

ÉTUDE HYDRAULIQUE

VIII.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.

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

- Surface du bassin versant (Km^2) ;
- Périmètre du bassin versant (Km) ;
- Longueur du plus long cours d'eau (Km) ;
- Altitude maximale (m) ;
- Altitude minimale (m) ;
- La pente (m/m) ;
- Longueur du rectangle équivalent (km)
- L'indice de compacité de Gravelius (Kc), pour la forme du bassin versant :

$$K_c = 0.28 \times P\sqrt{S}$$

Avec :

— P : Périmètre du bassin versant (Km) ;

— A : Surface du bassin versant (Km^2).

Le temps de concentration (T_c) en heure

Pour le temps de concentration (T_c), la formule de de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

- Superficie inférieure à $5km^2$:

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

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}$$

  T_c : temps de concentration (heure) ;

  S : superficie du bassin versant (Km^2) ;

  I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

- Superficie comprise entre 5 et 25 (Km^2) :

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

$$T_c = 0.108 \times \frac{(S.L)^{1/3}}{I_m^{1/2}}$$

  T_c : en heures

  S : Surface du bassin versant en (Km^2)

  L : longueur du cours d'eau principal en (Km)

  I_m : pente moyenne en (m/m)

- Superficie supérieure à 25 (Km^2) :

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

$$T_c = 60 \times \frac{4S^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$$

  T_c : en minute

  S : Surface du bassin versant en (Km^2)

  L : longueur du cours d'eau principal en (Km)

  H : altitude moyenne en (m) ;

VIII.2 Caractéristiques climatiques de la zones

Le but de est de déterminer les caractéristiques climatiques de la zone traversée par le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Ghardaïa – Ouargla, basées sur l'analyse des paramètres climatiques, tels que la température,

les précipitations, et le vent, recueillis au niveau des deux stations météorologiques, à savoir la station de Ghardaïa et la station d'Ouargla.

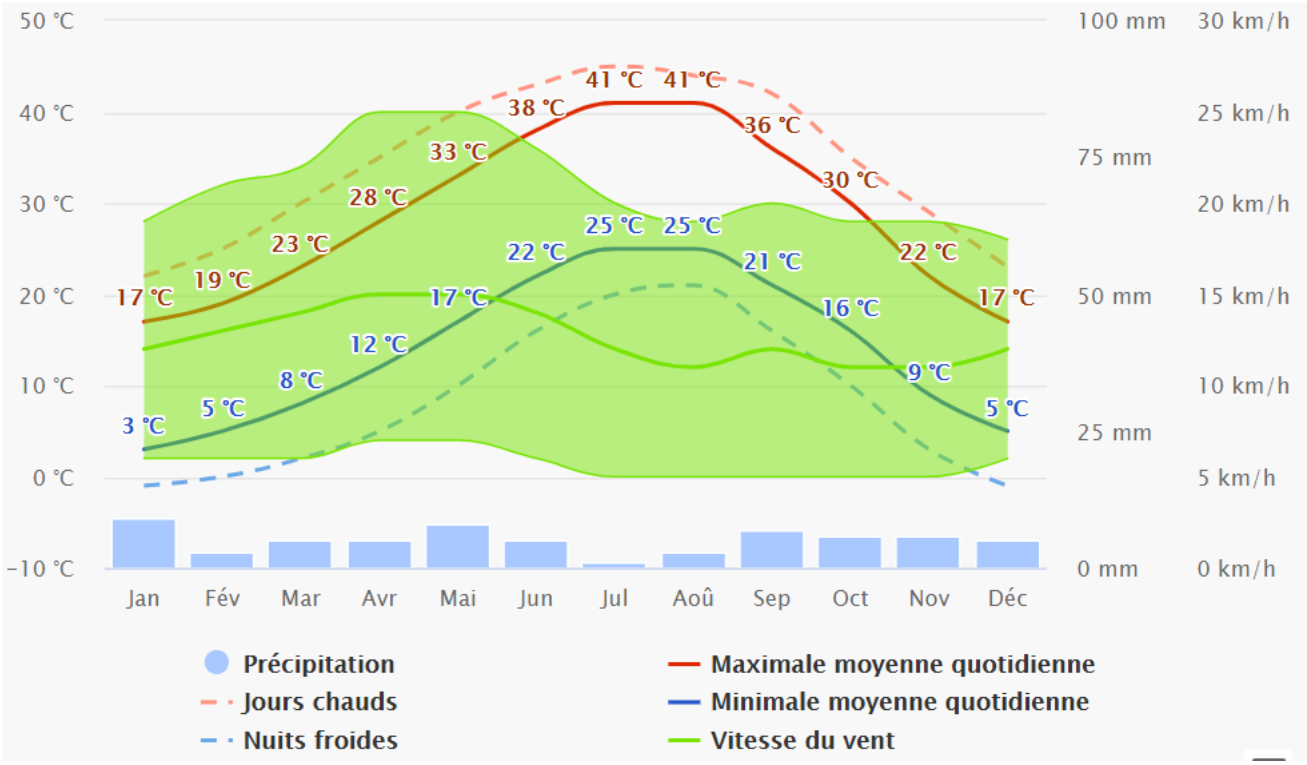


FIGURE VIII.1 – Températures et précipitations moyennes de Ghardaïa

VIII.2.1 Pluviométrie

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 des stations suivantes :

TABLE VIII.1 – Pluviométrie

Nom	Code	X	Y	Z
Ghardaia	130427	576176	3585062	443
Ouargla	130428	726894	3535191	146

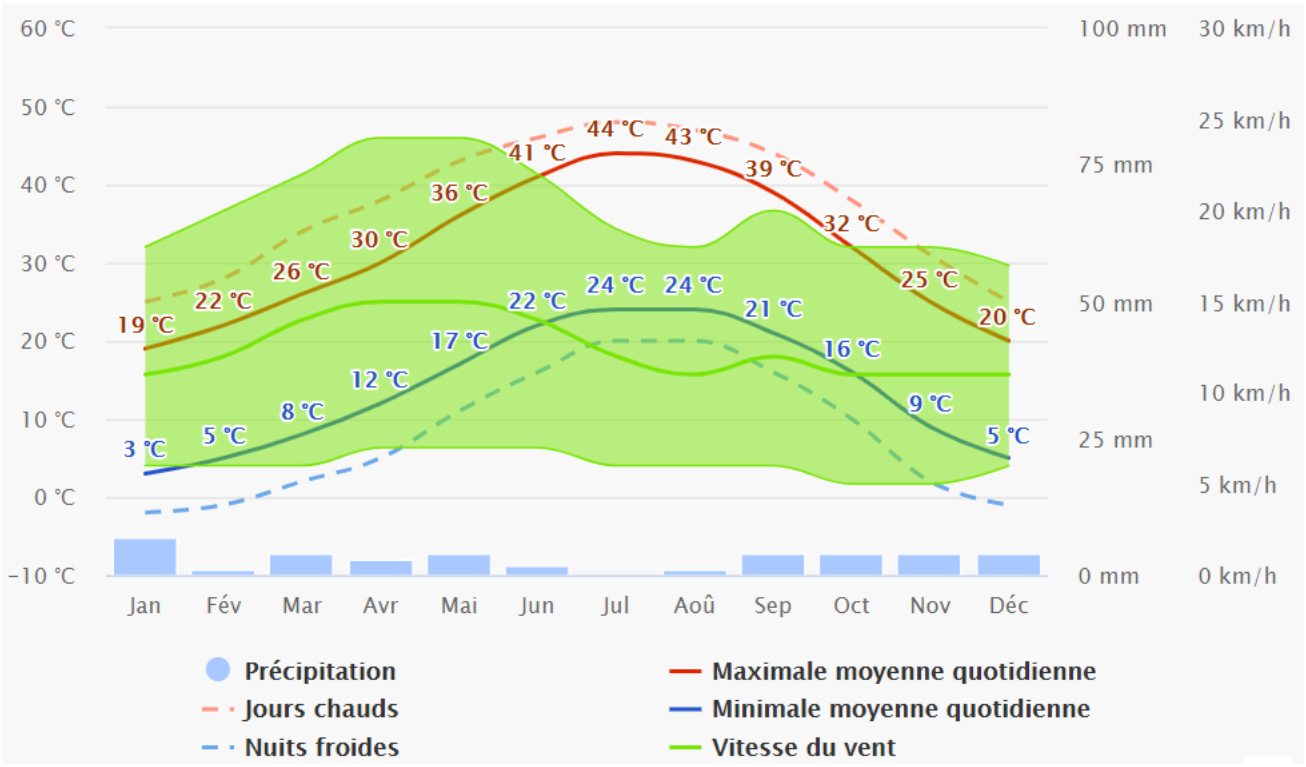


FIGURE VIII.2 – Températures et précipitations moyennes de Ouargla

- **Pluies annuelles**

  D'après la carte pluviométrique représentée sur la figure (XX) , les valeurs des précipitations varient entre 50 et 100 mm au niveau de la wilaya de Ghardaïa et inférieures à 50 mm pour la wilaya de Ouargla

- **Variations moyennes mensuelles des précipitations**

TABLE VIII.2 – Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation, au niveau de la station de Ghardaïa, période 1990 - 2019.

	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Ghardaia	10.10	2.62	8.83	6.46	2.60	3.50	0.89	2.22	15.74	7.14	6.03	5.52
Ouargla	5.93	1.83	3.52	2.18	1.26	0.29	0.29	0.53	4.81	5.75	4.76	4.68

- **Pluies de courtes durées**

  La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques, La relation Intensité -

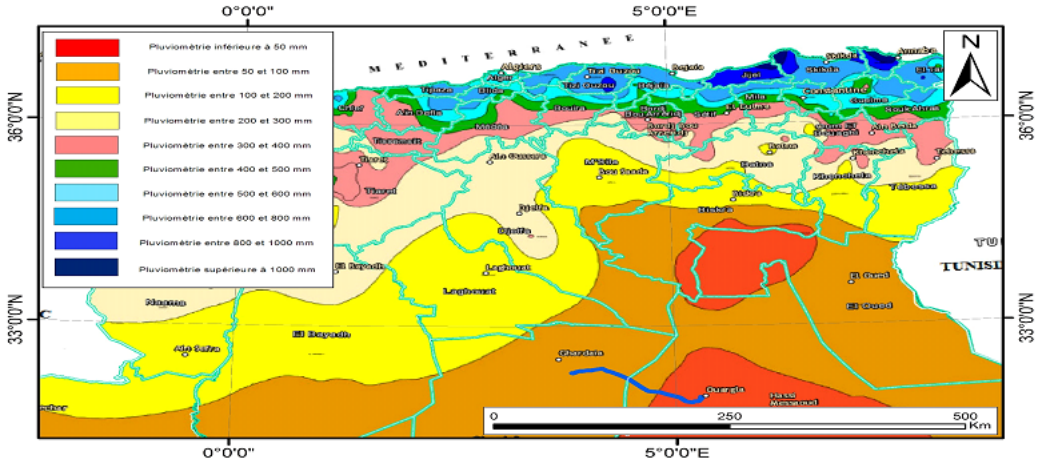


FIGURE VIII.3 – caractérisation pluviométrique de la zone traversée par le projet de Ghardaia – Ouargla (moyenne sur la période 1986-2005)

TABLE VIII.3 – valeurs du paramètre « a » selon la période de retour.

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

Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$I(t,T) = a(T)/t^b$$

I(t,T) : Intensité de pluie en mm/h ;

T : période de retour ;

t : temps en heures ;

a et b : paramètres de Montana.

VIII.2.2 Les vents

Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en mars et avril, on assiste au Sahara à des véritables tempêtes de sable. Des masses de sable se déplacent

TABLE VIII.4 – valeurs du paramètre « b » selon la station.

Station	b
Ghargaia	0.82

avec violence, atteignant plusieurs centaines de mètres de hauteur. L'obscurité règne et toute activité cesse. Ces phénomènes peuvent durer d'un à trois jours et plus, avec une accalmie durant la nuit.

Le vent est un élément caractéristique du climat, influant directement sur le climat d'une région et cette vitesse des vents influence sur l'évaporation des eaux par la surface de sol et des végétaux.

Au niveau de la station de Ghardaïa, pour la période de 1995 et 2015, on enregistre une vitesse maximale au printemps, estimée à 4.81 m/s, au mois d'avril, et une valeur minimale en mois d'octobre, estimée à 3.1 m/s.

Au niveau de la station Ouargla , on enregistre une vitesse maximale au mois de septembre et au mois d'avril et mai, estimée à 20.9 m/s et 20 m/s respectivement, et une valeur minimale, enregistrée en mois de Novembre, estimée à 13.8 m/s.

VIII.2.3 Les crues

L'intérêt de la détermination du débit maximum d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques.
Lorsqu'on projette la réalisation d'importants aménagements, on doit déterminer le maximum probable de la crue pour lequel l'rage 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

$$Q = 0.278 C_r I S$$

Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (m^3/s) ;
C_r : coefficient de ruissellement ;
I : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h) ;
S : superficie du bassin versant (Km^2)

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

$$C_r = C_1 + C_2 + C_3$$

Tel que :

TABLE VIII.5 – Coefficient C_1 dépendant de la pente du bassin versant

Pente	C1	
$<$ 3.5 %	0.01	0.05
3.5 % $<$ P $<$ 11%	0.06	0.10
11 % $<$ P $<$ 35 %	0.12	0.20
$>$ 35 %	0.22	0.30

TABLE VIII.6 – Coefficient C_1 dépendant de la nature du sol (perméabilité)

Nature de sol	C2	
Imperméable %	0.22	0.30
Peu perméable	0.10	0.20
Perméable	0.06	0.10
Trés perméable	0.03	0.05

TABLE VIII.7 – Coefficient C_3 dépendant de la couverture végétale du bassin versant

Couverture végétale	C3	
Rocheux	0.22	0.30
Prairie	0.10	0.20
Labours champs	0.06	0.10
Foret et territoire sableux	0.03	0.05

VIII.3 Exemple de calcul

TABLE VIII.8 – Caractéristiques des paramètres de bassins

BV	Pk	S (Km^2)	P (Km)	L_w (Km)	H_{min} (m)	H_{max} (m)	H_{moy} (m)	Pente (m/m)	K_c	L_{eq} (Km)	T_c (h)
BV1	Pk 15+025	12609	18.33	5.459	410	455	433	0.01	1.45	7.48	4.965

— Calcul temps de concentration d'eau T_c

On a : $S = 12.609Km^2$ donc on utilise la formule de PASSINI

$T_c = 108 \times \frac{(S.L)^{1/3}}{I^{1/2}} = 108 \times \frac{(12.609 \times 7.48)^{1/3}}{0.01^{1/2}} = 4.92h$

— L'indice de compacité de Gravelius (K_c) :

$K_c = 0.28 \times P\sqrt{S} = 0.28 \times 16.33\sqrt{12.24} = 4.92$

— Coefficient de ruissellement :

$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.03 + 0.08 + 0.04 = 0.15$

— Calcul de l'intensité :

$I(t,T) = a(T)/t^b = 31.6/4.92^{0.82} = 8.56$ mm/h

— Calcul du débit maximal :

$Q = 0.278 C_r I S = 0.278 \times 0.22 \times 8.56 \times 12.609 = 6.60(m/s^3)$

Les calculs des bassins versants délimités sur notre tronçon sont donnés en Annexe

Formule de MANNING-STRICKLER

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

K_{st} : coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage (entre75 et 95) ;

R_h : Rayon hydraulique (m) ;

I : Pente longitudinale du canal ($I = 0,01m/m$).

S_m : Section mouillée (à la hauteur de remplissage)

VIII.4 Dimensionnement des ouvrage hydrauliques

VIII.4.1 Dimensionnement des dalots

La section transversale des dalots peut avoir de diverses formes, les plus utilisées en Algérie sont de forme rectangulaire.

Les dimensions des dalots sont en fonction du débit maximum des eaux de ruissellement captées.

Dans notre projet les dalots sont en béton armé, donc le coefficient de rugosité est égal à $K_{st} = 70$.

La vitesse d'écoulement dans les ouvrages hydrauliques ne dépasse pas les $V_{max} = 4.5m/s$ pour protéger les caractéristiques du beton utilisé.

Pour les dalots, la section et le périmètre mouillés sont calculés pour une hauteur de remplissage égale à : $\rightarrow h_r = 0.08 \times h$

Donc :

$$\begin{cases} S_m = 0.8 \times h.b \\ P_m = 1.6 \times h + b \end{cases}$$

$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0.8 \times h.b}{1.6 \times h + b}$

$Q_s = K_{st} \times (\frac{0.8 \times h.b}{1.6 \times h + b})^{2/3} \times I^{1/2} \times 0.8 \times h.b$

$\rightarrow h = \frac{1}{0.8b}(\frac{Q_s}{K_s \times I^{1/2}})^{3/5}(1.6h + b)^{2/5}$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative.

Avec :

$$Q_a \leq Q_s$$

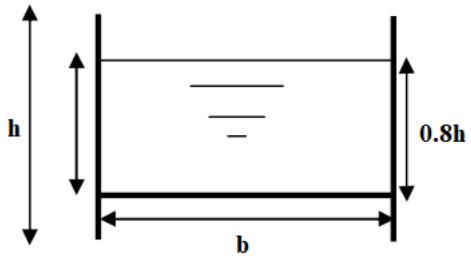


FIGURE VIII.4 – Dalot

VIII.5 Vérification conditions d'auto curage

Les conditions d'auto curage consistent vérifier les vitesses d'écoulement pour le 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).

✓ $V \geq 0.6m/s$ pour $Q = 0.1Q_{ps}$

✓ $V \geq 0.3m/s$ pour $Q = 0.01Q_{ps}$

VIII.6 Drainage longitudinal

Le drainage longitudinal de l'emprise et de la plateforme a pour objectif d'assurer la pérennité et la sécurité de l'ouvrage ferroviaire. Il a pour fonction de recevoir et de drainer :

- Les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plateforme dans les structures d'assise.
- Les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants

VIII.6.1 Dimensionnement des fossés

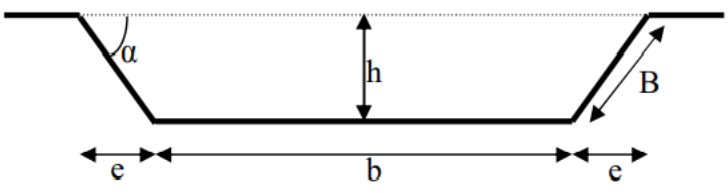


FIGURE VIII.5 – Le profil en travers hypothétique de fosse

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

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

S_m : Surface mouillée

P_m : Périmètre mouillé

R_h : Rayon hydraulique

P : Pente de talus $P = 1/n$

On fixe la base de la fosse à (b = 50 cm) et la pente du talus à (1/n =1/1.5) d'où la possibilité de calcul le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h.

Avec : la pente de fossée $I = 4\%$

✓ **Calcul de la surface mouillée**

$S_m = bh + 2\frac{eh}{2} = bh + nh^2 = n(b + nh) \rightarrow S_m = h(b + nh)$

Avec : $tg\alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n}$ D'où : $e = nh$

✓ **Calcul du périmètre mouille**

$P_m = b + 2B \rightarrow P_m = b + 2h\sqrt{1 + n^2}$

Avec : $B = \sqrt{h^2 + e^2} = h\sqrt{1 + n^2}$

✓ **Calcul le rayon hydraulique**

$R_h = \frac{h(b+nh)}{b+2h\sqrt{1+n^2}}$

Avec : $Q_a = Q_s$ Calculant h la profondeur de la fossée

CHAPITRE IX

CONCEPTION DE LA GARE DE ZELFANA

IX.1 Introduction

Une gare est un lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont une double fonction :

- Permettre l'embarquement et le débarquement des voyageurs, chargement et le déchargement des marchandises
- Assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

On distingue trois types de gares :

— **Gares voyageurs**

Les gares de voyageurs sont de taille très variable. Les gares peu importantes, qui constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent, sont appelées « haltes » ou « points d'arrêt ». Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les autres modes de transport urbains. Dans ce type de gare, on distingue les gares terminus et les gares de passage.

— **Gares marchandise**

Les gares de marchandise assurent la totalité du traitement du trafic de marchandise.

Elles sont dotées de halles à marchandise et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opère le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients

— **Gares de triage**

Les gares de triage assurent la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

Une gare moderne doit remplir son rôle dans un climat satisfaisant et avec un service convenable et agréable, pour cela, plusieurs agents peuvent intervenir pour évaluer la qualité du service.

Dans le présent projet, le maitre de l'ouvrage a décide de réaliser une

gare du PK36+00 au PK37+00 qui va servir a :

- Croisement des trains pour augmenter la capacité de ligne ferroviaire.
- Gare de voyageurs a fin de transporte la population de la région.

IX.2 Aménagement de la gare

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

1. **Le bâtiment de voyageurs :** C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.
2. **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** C'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.
3. **Quais :** C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains
4. **Abris de quais :** C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
5. **Les passages sous terrain et les passerelles :** Ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

IX.3 Réseau de voie

Selon l'importance des gares, le nombre de voies de chaque réseau est variable, chaque voie à sa fonction spécifique, mais elle peut éventuellement servir pour une autre, à condition que celle –ci n'ait pas de priorité sur la fonction spécifique.

IX.3.1 Garage franc

Le garage franc est une traverse en bois ou en béton peinte en blanc. Il représente la limite de la voie en gares. Il est placé par rapport au centre de l'appereil de voie a une distance calculée par la relation $GF = 3.57 \times N + 1$ avec N est fixé selon l'ouverture de l'appereil de voie. Pour plus de sécurité, il est installé a 1.0 métre de la valeur théorique

IX.3.2 La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la distance qui sépare deux garges francs, elle permet au train sur la voie de dépassement sans gener sur la voie principale ou les autres voies. SNTP recommande une distance de 426m.

IX.4 Caractéristiques géométrique de la gare

— Hauteur de quai = 0.55 m
— Largeur de quai = 8.00 m
— Longueur de quai = 225 m
— Passerelle de hauteur de 6.20 m et largeur 2.24 m
— Longueur utile = 1200m

IX.5 Description de la gare

la gare de voyageur située au PK36+00 est conçue avec 3 voies et 6 appareils de voies , elle est équipée de 2 quais similaires de 225m de longueur choisi d'une façon qu'elle soit plus que la longueur de train et de 8 m de largeur .

Les quais sont connectés par une passerelle pour piétons qui permet aux voyageurs d'accéder aux quais et de traverser les voies avec toute sécurité

La voie principale est circulée à une vitesse de 220Km/h. Un train direct qui ne s'arrêtera pas à la gare de ZELFANA peut maintenir la même vitesse

entre les deux extrémités de la ligne.

La voie d'évitement 3 permet à deux trains circulant en sens contraires sur la voie principale de se croiser.

La voie 2, Elle assure l'effacement d'une circulation lente circulant devant un ou plusieurs trains plus rapides. Le garage du train lent (train marchandises) permet au train rapide (train voyageurs) de poursuivre sa marche et de faire les dépassements selon les besoins de l'exploitation de la ligne et sans subir de ralentissement.

Les trains provenant de la voie unique en direction de la gare de voyageurs peuvent desservir la voie3 à l'aide du premier appareil de voie (UIC 1/12) .

Les mêmes trains provenant de la voie unique en direction de la gare de voyageurs , peuvent rester sur la même voie ou desservir la voie d'évitement 3. Ces deux voies sont reliées par un changement de voie constitué à l'aide du deuxième appareil de voie (UIC 1/12). De plus, le troisième appareil de voie (UIC 1/9) permet aux trains de desservir la voie qui donne accès aux quais A et B.

La nouvelle gare de ZELFANA est munie aussi des installations suivantes :

- ✓ Un tiroir de sécurité protégeant la voie réception/départ (Voie 3) des trains voyageurs. Ce tiroir permettra aussi le stationnement des locomotives de traction et finissant voyageurs en détresse.
- ✓ 2 heurtoirs ont été insérés dans la gare de ZELFANA.

IX.6 Conclusion

La gare est un élément essentiel qui nécessite un assainissement tout comme la voie ; c'est pout cela on doit faciliter le drainage des eaux pluviales surtout par une pente longitudinale minimale dans le cas de déblai équipées des collecteurs en dessous des fossés latéraux. Pour le cas de remblai les

eaux s"écouleront a travers les talus, donc une protection est nécessaire.

CHAPITRE X

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Le montant total du projet en toutes taxes comprises s'élève à : Un milliard huit cent vingt-cinq millions neuf cent cinquante mille cent quatre-vingt-treize Dinars Algérien

TABLE X.1 – Devis estimatif et quantitatif

Article	Désignation	Unité	Prix unitaire	Quntité	Montant
1 - INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1.1	Installation generale de chantier	F	137 130 028	1	137 130 028
2 - TERRASSEMENT					
2.1	Déblais mise en remblai	m^3	750	830 883	623 162 250
2.2	Déblai mise en dépot	m^3	550	28 763	15 819 650
2.3	Décapage de terre végétale	m^2	200	176 000	35 200 000
2.5	Couche de forme	m^3	1400	55552	77 772 800
2.6	Couche de sous ballast	m^3	2750	25 777	70 886 750
TOTAL H.T					822 841 450
3 - TRAVAUX DE LA VOIE					
3.1	Fourniture et pose de rail UIC 60-E1	m	17 306	1 223	21 165 238
3.2	Fourniture et pose de traverse bi-bloc	U	12 848	4 889	62 813 872
3.3	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/9 UIC 60-300	U	13 100 000	4	52 400 000
3.4	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/12 UIC 60-500	U	14 400 000	2	28 800 000
3.5	Fourniture et pose de ballast et ballastage de voie nouvelle	m^3	4 025	46 200	185 955 000
3.6	Soudage aluminothermique	U	17 000	1654	28 118 000
3.7	Soudage électrique	U	17 969	235	4 222 715
3.8	Attache Nabla	U	500	19 556	9 778 000
3.9	Garage franc	U	424 223	4	1 696 892
TOTAL H.T					154 510 217
4 - ASSAINISSEMENT ET OUVRAGES DE DRAINAGE					
4.1	Fossés trapézoidaux en béton armé	ml	4 800	44 000	211 200 000
4.2	Dalot	m^3	34 800	72	2 505 600
TOTAL H.T					23 625 600

Article	Désignation	Unité	Prix unitaire	Quntité	Montant
5 - AMENAGEMENT DES GARES					
5.1	Estimation du coût des travaux de la gare				290 751 936
6 - SIGNALISATION					
6.1	Estimation du coût d'installation des différents signaux				105 552 696
TOTAL FINAL H.T (HORS TAXES)					1 534 411 927
TVA (TAXES SUR LA VALEUR AJOUTEE 19%					291 538 266.13
TOTAL FINAL TTC (TOUTES TAXES COMPRISES)					1 825 950 193

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le chemin de fer est un service public créé pour la satisfaction des besoins du public et de la structure industrielle. Il vient un service de transport qui constitue une étape inévitable et souvent essentielle du cycle de la production. Il exerce ainsi par les prix et conditions aux quelles il vient ce service, une influence considérable sur la circulation et la répartition des produits et suite sur la prospérité économique du pays.

Dans notre projet on a étudié un trançon ferroviare de 22km reliant la wilaya de GHERDAIA a OUARGLA , avec la conception de la gare de ZELFANA qui se trouve à la fin de ce trançon , en effectuant toutes les études nécessaires qui permet à constituer a la partie qui tranche dans l'investissement de ce projet, le devis quantitatif estimatif.

Cette étude APD nous a permis non seulement d'exprimer et appliquer mes connaissances acquise durant les cinq année de ma formation . Mais aussi, ce travail m'a permis de développer notre coté informatique , par l'utilisation des logiciels (CIVIL 3D, AUTOCAD, GLOBAL MAPPER, LATEX...).

CHAPITRE XI

ANNEXES

ANNEXE 01

ANNEXE 02

ANNEXE 03

ANNEXE 04

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client:
Client
Client Company
Address 1
Date: 20/06/2021 12:14:10

Prepared by:
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Axe en plan: Axe1
Description:
Plage d'abscisse : Début: 15000.00, Fin: 37070.22

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			15000.00	592206.6683	3578424.6329
DR1	ANG=83.1239 (g)	1074.456			
			16074.46	593243.5926	3578706.1350
CLO2	A=703.562				
	R=3300.000	150.000			
			16224.46	593388.6433	3578744.3356
ARC3	XC=594180.6294				
	YC=3575540.7816				
	R=3300.000	507.118			
			16731.57	593888.3393	3578827.8116
CLO4	A=703.562				
	R=3300.000	150.000			
			16881.57	594037.9305	3578838.8321
DR5	ANG=95.8007 (g)	2251.511			
			19133.08	596284.5451	3578987.2379
CLO6	A=677.495				
	R=2700.000	170.000			
			19303.08	596454.2761	3578996.6622
ARC7	XC=596547.3543				
	YC=3576298.2671				
	R=2700.000	807.884			
			20110.97	597253.8260	3578904.2021
CLO8	A=677.495				
	R=2700.000	170.000			
			20280.97	597416.9266	3578856.2891
DR9	ANG=118.8579 (g)	143.381			
			20424.35	597554.0625	3578814.4355
CLO10	A=679.706				
	R=2200.000	210.000			
			20634.35	597755.8457	3578756.3440
ARC11	XC=598296.9193				
	YC=3580888.7697				
	R=2200.000	1688.386			
			22322.74	599388.0734	3578978.4339
CLO12	A=679.706				
	R=2200.000	210.000			
			22532.74	599566.9997	3579088.3268
DR13	ANG=63.9234 (g)	881.582			
			23414.32	600310.7756	3579561.5971
CLO14	A=677.495				

CLO14	A=677.495				
	R=2700.000	170.000			
			23584.32	600455.1451	3579651.3462
ARC15	XC=601832.1987				
	YC=3577328.9071				
	R=2700.000	824.640			
			24408.96	601217.2267	3579957.9391
CLO16	A=677.495				
	R=2700.000	170.000			
			24578.96	601383.5271	3579993.1756
DR17	ANG=87.3757 (g)	8550.436			
			33129.39	609766.3948	3581677.6595
CLO18	A=678.233				
	R=2300.000	200.000			
			33329.39	609963.0092	3581714.2118
ARC19	XC=610317.6845				
	YC=3579441.7230				
	R=2300.000	1844.867			
			35174.26	611704.6596	3581276.4710
CLO20	A=678.233				
	R=2300.000	200.000			
			35374.26	611860.6274	3581151.3018
DR21	ANG=143.9761 (g)	1695.961			
			37070.22	613167.7926	3580070.7457

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client:
Client
Client Company
Address 1
Date: 20/06/2021 12:30:48

Prepared by:
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Profil en long : LR1
Description:
Plage d'abscisse : Début: 15012.08, Fin: 37070.13
LONGUEUR DE L'AXE : 22058.050m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			15439.91	418.218
ARC0	S= 15651.19 Z=421.309			
	R= -37000.000	422.592		
			15862.50	421.987
D1	PENTE= 0.32%	1338.024		
			17200.52	426.280
ARC1	S= 17410.77 Z=426.955			
	R= -30000.000	420.475		
			17621.00	424.683
D2	PENTE= -1.08%	1720.966		
			19341.96	406.083
ARC2	S= 19392.43 Z=405.538			
	R= -27000.000	100.939		
			19442.90	405.181
D3	PENTE= -0.71%	773.330		
			20216.23	399.714
ARC3	S= 20316.30 Z=399.007			
	R= -38000.000	200.143		
			20416.38	398.827
D4	PENTE= -0.18%	356.686		
			20773.06	398.184
ARC4	S= 20940.76 Z=397.882			
	R= -33000.000	335.399		
			21108.46	399.284
D5	PENTE= 0.84%	737.279		
			21845.74	405.450
ARC5	S= 22054.99 Z=407.199			
	R= -32000.000	418.502		
			22264.24	406.212
D6	PENTE= -0.47%	1945.189		
			24209.43	397.038
ARC6	S= 24215.57 Z=397.009			
	R= -45000.000	12.272		
			24221.70	396.979
D7	PENTE= -0.50%	826.146		
			25047.85	392.857
ARC7	S= 25128.52 Z=392.455			
	R= -36000.000	161.336		
			25209.19	392.414

D8	PENTE= -0.05%	2607.548		
			27816.73	391.091
ARC8	S= 27941.48 Z=391.027			
	R= -37000.000	249.497		
			28066.23	390.123
D9	PENTE= -0.73%	852.908		
			28919.14	383.938
ARC9	S= 29181.53 Z=382.036			
	R= -23564.679	524.759		
			29443.90	385.977
D10	PENTE= 1.50%	57.706		
			29501.60	386.843
ARC10	S= 29739.65 Z=390.419			
	R= -30000.000	476.113		
			29977.72	390.216
D11	PENTE= -0.09%	623.936		
			30601.65	389.684
ARC11	S= 30723.77 Z=389.580			
	R= -36000.000	244.240		
			30845.89	388.648
D12	PENTE= -0.76%	929.122		
			31775.01	381.552
ARC12	S= 31835.73 Z=381.089			
	R= -30000.000	121.432		
			31896.45	380.871
D13	PENTE= -0.36%	2258.990		
			34155.44	372.763
ARC13	S= 34329.52 Z=372.139			
	R= -30000.000	348.145		
			34503.58	369.494
D14	PENTE= -1.52%	623.269		
			35126.85	360.023
ARC14	S= 35392.32 Z=355.989			
	R= -35000.000	530.969		
			35657.82	355.983
D15	PENTE= -0.00%	1026.177		
			36684.00	355.959
ARC15	S= 36804.41 Z=355.956			
	R= -33997.237	240.829		
			36924.83	355.100
D16	PENTE= -0.71%	145.305		
			37070.13	354.068