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 des diplômes d'Ingénieur d'État
Filière : Travaux Publics
Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude APD de dédoublement de la ligne ferroviaire EL EULMA-BIR AL ARCH (PK 340+800 – PK 352+633) avec aménagement de la gare d'EL EULMA

Présenté par :
- GHERBI Hamza

Encadré par :
-DEBICHE Fatiha

Co-Encadrant :
- HAMADI Kamel

Promotion 2021/2022


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Je remercie avant tout Allah de m'avoir gardé en bonne santé toute cette période afin de mener à bien ce projet de fin d'études.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particuliere que je mon promoteur Mme. DEBICHE Fatiha son aide et ses conseils judicieux nous faisant partager ainsi ses connaissances et son expérience dans le domaine de travaux publics.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'ENSTP et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Un gros merci à tous les personnels de L'ENSTP pour leurs précieux conseils et leurs efforts spécialement Mme. Bourebia et Mme. Makoudi.

Je remercie également les membres du jury qui nous font l'honneur d'examiner ce modeste travail.

DEDICACE

Je tiens à dédier ce mémoire:

Je dédie ce modeste travail à ma très chère tante qui a toujours été là dans les moments difficile et qui a tout donné pour moi et qui a tout sacrifié pour que je devienne l'homme que je suis aujourd'hui, je ne saurais te rendre ce que tu m'as donné, dussé-je t'arracher chaque étoile et t'en faire un collier, tant tu es mon plus grand trésor.
Que dieu te garde à moi.
A chére Mère et à mon cher Père pour leurs soutien permanent Durant mes années d'études.
A mes chers Frères et mes chère Soeur.
A toute La famille: BOUCHACHI, GHERBI.
A mes chers Amis : Yazizain Adel, Zine Yacine, Lababou Rafik, Derazi Farid, Moumeni Sid Ahmed, Khelfhoum Abdelmoumene, Annane Omar, Douara ammar, Debiche Amar, Benzine Ilyes, Tagzait Miloud, Hadid Abd El Malek, Aouffen Alaa Edine, Amara Nasr, Alouache Salim,yazid el-bobi, ilyes niveau, mohammed skh, ..., surtout ceux qui ont supporté mes sauts d'humeur.
A tous mes amis de ENSTP.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un d'un dédoublement de la voie et rectification de tracé pour augmenter la vitesse à 160 km/h sur le tronçon du Pk 340+800 au Pk 352+633 de la ligne Sétif / Ghourzi et la conception de la gare D' El Eulma.
L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés (normes UIC), la modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2019.

ملخص

يتكون هذا المشروع بشكل أساسي من دراسة التصميم الأولية التفصيلية (APD) لمضاعفة المسار وتصحيح المحاذاة لزيادة السرعة إلى 160 كم / ساعة على المقطع من Pk 340+800إلى Pk 352+633 من سطيف / القورزي وتصميم محطة العلمة .
سيعتمد تحديد الخصائص التقنية الأكثر ملاءمة لخط السكك الحديدية المقترح على التوصيات بالإضافة إلى الممارسات التي يتبعها SNTF وأنظمة السكك الحديدية الأخرى الأكثر تطوراً معايير(UIC) وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع في، استخدام برنامج CIVIL 3D 2019.

SUMMARY

The present project consists essentially of the detailed preliminary design study (APD) of a doubling of the track and rectification of the alignment to increase the speed to 160 km / h on the section from Pk 340+800 to Pk 352+633 of the Sétif / Ghourzi line and the design of the El Eulma station.
The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the recommendations as well as the practices which are followed by the SNTF and other more developed railway systems (UIC standards), the geometric modeling of the project was carried out at using CIVIL 3D 2019 software.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE. 01

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 INTRODUCTION. 03
I.2 LE CHEMIN DE FER 03
I.3 LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER. 04
I.4. HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER EN ALGÉRIE. 04

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJE

II.1 INTRODUCTION. 06
II.2 APERÇU SUR LA VOIE EXISTANTE 06
II.2.1 Les caractéristiques géométriques du tracé. 06
II.2.2 Gare. 07
II.3 OBJECTIF DU PROJET 07
II.4 PRÉSENTATION DU SITE 07
II.4.1 Relief du site. 08
II.4.2 Climat. 08
II.4.3 Sismicité. 08
II.5 PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE. 08
II.6 CONCLUSION. 09

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 INTRODUCTION. 10
III.2 LA VOIE. 10
III.2.1 Catégorie de voies. 10
III.2.2 Rôle de la voie. 10
III.2.3 Caractéristique de la voie. 10
III.2.4 Les composantes de la voie. 11
III.3 CARACTÉRISTIQUE ET TYPE D'INSTALLATION POUR NOTRE PROJET. 14
III.3.1 Voie courante. 15
III.3.2 Voie de service en gare. 15
III.3.3 L'appareil de voie. 15
III.4 CONCLUSION. 15

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV.1 INTRODUCTION. 16
IV.2 TRACÉ EN PLAN. 16
IV.2.1 Les Elément de tracé en plan. 16
IV.2.2 Conditions a respecté dans le tracé en plan. 17
IV.2.3 Condition de raccordement. 17
IV.2.4 Les paramètres de conception du tracé de la voie. 17
IV.2.4.1 Données de base. 17
IV.2.4.2 Le dévers. 17
IV.2.4.3 Insuffisance de divers. 19

IV.2.4.4 Excès de devers. 19
IV.2.4.5 Rayon minimum de l'arc de cercle. 19
IV.2.5 Courbe de raccordement. 20
IV.2.5.1 Variation de dévers dans le raccordement. 21
IV.2.5.2 Variation de l'insuffisance de divers dans le raccordement. 22
IV.2.6 Longueur minimale des éléments de tracé. 22
IV.2.6.1 Courbes avec RP et doucines. 23
IV.2.6.2 Courbes avec RP sans doucines. 23
IV.2.6.3 Courbes sans RP. 23
IV.3 APPLICATION AU PROJET. 23
IV.3.1 Application au notre projet. 25
IV.4 CONCLUSION. 26

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG

V.1 INTRODUCTION. 27
V.2 RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ DU PROFILE EN LONG. 27
V.3 ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG. 27
V.3.1 Déclivités maximales. 28
V.3.2 Longueur minimale des éléments du profil. 28
V.3.3 Rayon de raccordement en profil (raccord circulaire). 29
V.4 APPLICATTION AU PROJET. 29
V.5 CONCLUSION. 30

CHAPITRE VI : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1 INTRODUCTION. 31
VI.2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE. 31
VI.3 ÉTUDE HYDRAULOGIQUE. 31
VI.3.1 Climatologie. 31
VI.3.1.1 Température. 31
VI.3.1.2 Les vents. 31
VI.3.2 Pluviométrie. 31
VI.3.2.1 Pluie moyenne dans la région. 32
VI.3.2.2 Pluies annuelles. 32
VI.3.2.3 Précipitations mensuelles. 32
VI.3.2.4 Précipitations journalières. 33
VI.3.3. Bassins versants. 33
VI.3.3.1 La délimitation des bassins versants. 33
VI.3.3.2 Les caractéristiques des bassins versants. 34
VI.3.4 Calcul hydraulique. 36
VI.3.4.1 Calcul du débit maximal dans les bassins. 36
VI.3.4.2 Temps de concentration Tc. 37
VI.3.4.3 Calcul de la fréquence d'averse. 37
VI.3.4.4 Calcul de l'intensité de pluie. 38
VI.4 ÉTUDE HYDRAULIQUE. 39
VI.4.1 Introduction. 39
VI.4.2 Les ouvrages transversaux. 39
VI.4.3 Critère de dimensionnement à respecter. 40
VI.4.3.1 Vérification des conditions d'auto curages. 41

VI.4.4 Application au projet. 41
VI.4.4.1. Application numérique. 42
VI.4.5 Ouvrages d'assainissements longitudinaux. 44
VI.4.5.1 Dimensionnement des fossés. 45
VI.5 CONCLUSION. 47

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VII.1 GÉOLOGIE. 48
VII.1.1. Introduction. 48
VII.1.2. La géologie générale. 48
VII.1.3 Contexte géologique du projet. 48
VII.2 GÉOTECHNIQUE. 49
VII.2.1 Introduction. 49
VII.2.2 Objectifs d'une étude géotechnique 49
VII.2.3 Reconnaissance géotechnique. 50
VII.2.4 Essais in situ. 50
VII.2.4.1 Interprétation des essais in situ. 50
VII.2.4.2 Interprétation des résultats. 51
VII.2.5 Essais de laboratoire. 51
VII.2.5.1 Interprétation des essais en laboratoire. 52
VII.2.5.2 Interprétation des résultats. 54

CHAPITRE VIII: ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1 INTRODUCTION 55
VIII.2 LE BALLAST. 55
VIII.2.1 Caractéristique de ballast. 55
VIII.3 SOUS COUCHE. 55
VIII.3.1 Rôle de la sous couche. 55
VIII.4. LA PLATE-FORME. 56
VIII.4.1 Classification des sols pour la plateforme. 56
VIII.4.2. Les classe de la portance de la plate-forme. 57
VIII.5 CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE. 57
VIII.6 APPLICATION AU PROJET. 59
VIII.7 CONCLUSION. 60

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS

IX.1 INTRODUCTION. 61
IX.2 TYPE DE PROFIL EN TRAVERS. 61
IX.2.1 Les éléments du profil en travers. 61
IX.2.1.1 Éléments de l'infrastructure. 61
IX.2.1.2 Éléments de superstructure. 61
IX.2.1.3 Éléments du talus. 61
IX.2.1.4 Éléments d'assainissement. 61
IX.3 LES PROFILS EN TRAVERS TYPE ADOPTES POUR NOTRE TRACES. 62
IX.3.1 Voie double. 62
IX.3.2 Viaduc. 62
IX.3.3 Gare El Eulma. 62
IX.4 CALCUL DES CUBATURES. 63

CHAPITRE X : LES OUVRAGES D'ART

X.1 INTRODUCTION. 64
X.2 TYPE DE PROFIL EN TRAVERS. 64
X.3 CROISEMENT AVEC UNE ROUTE. 64
X.4 DÉFIINITION ET CATÉGORIES DES PONTS. 64
X.5 LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET. 65

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE EL EULMA

XI.1 INTRODUCTION. 66
XI.2 AMÉNAGEMENT DE LA GARE. 66
XI.2.1 Installations d'une gare mixte. 66
XI.2.2 Marge de glissement à l'aval des signaux. 67
XI.2.3 Garage franc. 68
XI.2.4 Heurtoir. 68
XI.2.5 L'emplacement de la gare. 69
XI.3 CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES GARES. 69
XI.3.1 La longueur utile d'une voie de stationnement 69
XI.3.2 Déclivité dans les gares. 70
XI.3.3 Quai. 70
XI.3.4 Les appareils de voie. 70
XI.4 APPLICATION AU PROJET. 72
XI.5 ASSAINISSEMENT DANS LA GARE. 74
XI.5.1 Assainissement longitudinal. 74
XI.5.2 Assainissement transversale. 74

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 INTRODUCTION. 75
XII.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION. 75
XII.3 DIFFÉRENTES FONCTIONS DES SIGNAUX. 75
XII.4 APPLICATION AU PROJET. 75
XII.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX. 75
XII.6 VISIBILITÉ DES SIGNAUX. 76
XII.7 PRINCIPE DE SIGNALISATION FERROVIAIRE. 76
XII.7.1 Signalisation classique. 76
XII.7.1.1 Principe de base de cantonnement. 76
XII.7.2 Signalisation moderne. 79
XII.7.2.1 Définition du système ERTMS. 80
XII.8 CONCLUSION. 80

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 INTRODUCTION. 81
XIII.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT. 81
XIII.3 DESCRIPTION DU MILIEU. 81
XIII.3.1 Milieu physique. 81
XIII.3.1.1 Relief. 81
XIII.3.1.2 Géologique et lithologie. 81

XIII.3.1.3 Climatologie. 82
XIII.3.1.4 Hydrologie et hydrogéologie. 82
XIII.3.1.5 Sismologie. 82
XIII.3.2 Milieu humain. 82
XIII.3.2.1 Démographie. 82
XIII.3.2.2 Activités économiques. 82
XIII.3.2.3 L'Agriculture. 82
XIII.3.2.4 L'industrie. 83
XIII.3.2.5 Le Commerce. 83
XIII.3.2.6 Les infrastructures de base. 83
XIII.3.3 Biologique. 83
XIII.3.3.1 Végétation. 83
XIII.3.3.2 Faune. 83
XIII.4 ANALYSE DES IMPACTS. 83
XIII.4.1 Identification des impacts. 83
XIII.4.2 Activités génératrices des impacts appréhendent. 83
XIII.4.2.1 Géologie et géomorphologie. 84
XIII.4.2.2 Hydrologie. 84
XIII.4.2.3 Végétation. 84
XIII.4.2.4 Faune. 84
XIII.4.2.5 La qualité de l'air. 84
XIII.4.2.6 Bruit et des vibrations. 85
XIII.4.2.7 Paysage. 85
XIII.4.2.8 Gisements archéologiques. 85
XIII.4.2.9 Milieu social. 85
XIII.4.3 Impacts positifs. 86
XIII.5 MESURES TECHNIQUES D'INTEGRATION ENVIRONNEMENTALE. 86
XIII.5.1 Jalonnement. 87
XIII.5.2 Installation et emplacement des chantiers. 87
XIII.5.2.1 Emplacement des chantiers. 87
XIII.5.2.2 Déversement des Eaux Usées. 87
XIII.5.2.3 Accès. 87
XIII.5.2.4 Déchets Solides. 88
XIII.5.2.5 Déversements Accidentels et Fuites. 88
XIII.5.3 Protection de zones de dépôt et de stockage 88
XIII.5.4 Lutte contre l'érosion. 88
XIII.5.5 Plan de routes, de chemins et de pistes du chantier. 88
XIII.5.6 Végétalisation. 88
XIII.5.7 Mesures préconisées pour la protection de la faune. 89
XIII.5.8 Installations auxiliaires. 89
XIII.5.9 Mesures contre le bruit. 89
XIII.6 MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES. 89
XIII.6.1 Milieu physique. 89
XIII.6.2 Milieu humain. 90
XIII.6.3 Milieu biologique. 90
XIII.6.4 Milieu visuel. 90
XIII.7 CONCLUSION. 91

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF. 92

CONCLUSION GÉNÉRALE. 94

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste des figures

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 Les réseaux ferroviaires algériens. 05

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJE

Figure II.1 Plan de situation de la zone d'étude. 08
Figure II.2 Situation géographique du tronçon d'étude. 09

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Figure III.1 Les constituants de la section transversale de rail. 11
Figure III.2 Traverse en BA. 12
Figure III.3 Travers bibloc. 13
Figure III.4 Attache type nabla. 13
Figure III.5 Un branchement et ses éléments constitutifs. 14

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

Figure IV.1 Éléments du tracé en plan. 17

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG

Figure V.1 Élément de profil en long Selon. 28
Figure V.2 Valeurs limites d'inclinaison en fonction des longueur de rampe. 28

CHAPITRE VI : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Figure VI.1 La délimitation des bassins versants. 34
Figure VI.2 Un fossé de forme trapézoïdale. 45

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

Figure VII.1 Situation de la zone d'étude. 49
Figure VII.2 Limites d'Atterberg. 53

CHAPITRE VIII: ASSISE FERROVIAIRE

Figure VIII.1 Les épaisseurs des couches d'assise. 58

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE EL EULMA

Figure XI.1 Schématisation de la marge de glissement. 67
Figure XI.2 Schéma illustratif de garage franc. 68
Figure XI.3 Un heurtoir. 69
Figure XI.4 Emplacement actuel et futur de la Gare d'EL EULMA. 69
Figure XI.5 schéma illustratif. 71
Figure XI.6 Schéma de l'appareil de voie. 73

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Figure XII.1 schéma illustratif de canton. 77

Liste des tableaux

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJE

Tableau II.1 Récapitulatif des rayons de courbe existant 06

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

Tableau IV.1 Valeurs limites du déver. 18
Tableau IV.2 Valeurs limites de l'insuffisance de déver. 19
Tableau IV.3 Valeurs limites de l'excès de dévers. 19
Tableau IV.4 les valeurs de la courbure. 20
Tableau IV.5 Limitation de la courbure 21
Tableau IV.6 Le calcule Pour le projet. 21
Tableau IV.7 Limite de la variation de devers par rapport à la longueur. 21
Tableau IV.8 Limite de la variation de devers par rapport au temps. 22
Tableau IV.9 : Limite de variation de divers en fonction de rayon et devers de la courbe Adjacente. 22
Tableau IV.10 Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements. 22
Tableau IV.11 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieu de doucines. 23
Tableau IV.12 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes sans doucines. 23
Tableau IV.13 Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes sans RP. 23
Tableau IV.14 Paramètres géométriques du tracé. 24
Tableau IV.15 Paramètres du tracé. 26

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG

Tableau V.1 Les longueurs minimales des éléments de profile en long. 29
Tableau V.2 Valeurs de Rayon vertical minimale. 29
Tableau V.3 Valeurs des paramètres de profil en long. 29
Tableau V.4 Éléments géométriques du profil en long. 29

CHAPITRE VI : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Tableau VI.1 Les moyennes mensuelles et annuelle des températures. 31
Tableau VI.2 Les moyennes mensuelles de la vitesse des vents. 31
Tableau VI.3 Les pluies annuelles. 32
Tableau VI.4 Répartition mensuelle des précipitations. 32
Tableau VI.5 Pluies journalières maximales. 33
Tableau VI.6 Caractéristiques morphologiques des bassins versants. 35
Tableau VI.7 L**es** débits de chaque Bassins versants. 38
Tableau VI.8 Valeur de KS selon SETRA. 40
Tableau VI.9 Vérification hydraulique des ouvrages transversaux. 43
Tableau VI.10 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. 46

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

Tableau VII.1 La lithologie des puits de reconnaissance. 50

CHAPITRE VIII: ASSISE FERROVIAIRE

Tableau VIII.1 Classe de qualité des sols. 56
Tableau VIII.2 La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34). 57
Tableau VIII.3 Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R). 58

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS

Tableau IX.1 Les cubatures de terrassement. 63

CHAPITRE X : LES OUVRAGES D'ART

Tableau X.1 Liste des ouvrages d'art pour mon projet. 65

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE EL EULMA

Tableau XI.1 Les branchements. 72
Tableau XI.2 Paramètres de l'appareil de voie. 73
Tableau XI.3 Caractéristiques des appareils de voies. 73

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Tableau XII.1 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication. 77
Tableau XII.2 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication. 79

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau XIII.1 Population des communes concernées par le projet. 82
Tableau XIII.2 Gravité des dommages (éventuels) causés aux réseaux 86

INTRODUCTION GENERALE

Le transport est la méthode de transport des biens et des personnes d'un endroit à un autre. Avant l'invention de la roue, les gens étaient isolés des autres communautés et ne pouvaient se déplacer que sur une courte distance à pied. Leur invention a changé la vie humaine et il est aujourd'hui possible de voyager à la fois sur Terre et dans l'espace. Le transport est également un élément important de l'économie car il est lié au mouvement des personnes et des marchandises. Il facilite l'accès des entreprises aux matières premières et à leurs clients, élargissant ainsi l'accès à l'achat et à la vente des biens dont ils ont besoin, et en reliant les producteurs et les consommateurs, en améliorant l'accès au marché du travail, en économisant sur le transport des marchandises sur de longues distances, en coût et en temps, un diverses méthodes d'expédition peuvent être utilisées, notamment :

1. Le transport routier

Le transport routier comprend l'utilisation de voitures, de vélos, de camions et d'autobus, ces derniers étant plus flexibles que les autres modes de transport et ayant une grande capacité sur de courtes distances, mais ses coûts d'entretien élevés restent un gros problème.

2. Le chemin de fer

C'est une forme de transport terrestre qui sert à la circulation des trains, et l'une de ses caractéristiques les plus importantes est qu'il est moins cher, plus sûr, plus confortable pour les passagers longue distance, et a la capacité d'accueillir et de transporter des marchandises lourdes et volumineuses..

3. Transport maritime

Le transport maritime est le mode le plus important pour la marchandise, il est considéré comme le mode le plus Economique.

4. Le transport aérien

Est une activité de transport de passagers ou de fret effectuée par voie aérien est un mode de transport rapide.

RÉSEAU DE TRANSPORT ALGÉRIEN

Le transport en Algérie est diversifié vu la superficie de l'Algérie.

1. Le transport routier

En Algérie, le transport routier fait l'objet d'une attention particulière depuis l'indépendance, en raison de l'étendue territoriale considérable du pays, de la forte mobilité de la population et de l'importance des échanges commerciaux entre les régions économiques du pays. Elle évolue progressivement en fonction de la distribution de la population et de ses activités et selon les contraintes de la topographie. Il diminue graduellement vers les Hauts Plateaux et sur un nombre limité d'axes au sud.

2. Le transport portuaire et maritime

Si la mer joue un rôle important dans le transport des marchandises (hydrocarbures, produits chimiques, produits miniers, etc.) ; Plus de 95% des échanges économiques extérieurs de l'Algérie se font par voie maritime, d'où la décision d'engager des programmes d'entretien, de développement et de modernisation de ce secteur.
Les infrastructures portuaires se composent de 40 ports dont : 11 ports mixtes (pêche, commerce, hydrocarbures); 03 ports spécialisés en hydrocarbures (SKIKDA, BEJAÎA et ARZEW); 26 ports abris de pêche (dont 06 à l'intérieur des ports de commerce); 01 port de plaisance (SIDI FREDJ).

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 20 %. Les ports d'Arzew/Bethioua sont affectés exclusivement au transport des hydrocarbures.

Malgré la situation apparemment satisfaisante, au point de vue des capacités de nos ports, certains d'eux ont une conception en général ancienne non adaptée aux normes du trafic moderne et à la taille des navires marchands.

3. Le transport aéroportuaire

L'Algérie compte 53 plates-formes nationales, dont 12 aéroports de classe mondiale à Alger (Houari Boumediene), Annaba, Constantine, Tlemcen et Oran. Il existe 10 aéroports nationaux, 10 régionaux et 1 à usage restreint dans le sud algérien.

Des services internationaux réguliers sont quasi assurés depuis 4 grands aéroports du nord : Alger, Oran, Constantine et Annaba, couvrant l'Europe, les pays du Maghreb, le Moyen-Orient et l'Afrique de l'Ouest.

La capacité aéroportuaire actuelle est adéquate, sauf pour certaines zones

Hauts-plateaux et l'extrême sud. Les investissements en cours nécessitent des actions de renforcement des capacités et de développement dans certaines zones d'activités aéroportuaires existantes.

4. Le transport ferroviaire

Il joue un rôle important dans la desserte des ports et des grands centres urbains du littoral. Il a évolué en réponse aux activités agricoles, minières et industrielles, à la croissance et au déploiement de la population et aux réponses aux exigences de la défense nationale. Les lignes principales sont proches de la côte, presque parallèle à elle, mais le réseau comprend également des embranchements reliant des zones moins développées et des lignes de pénétration desservant les gisements. Il existe également un trafic important de banlieue au niveau des principales villes du Nord, Alger, Annaba et Oran

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 INTRODUCTION

Dans le cadre du processus global de développement, l'Algérie a eu recours à tous les moyens. Afin de développer le transport ferroviaire, entreprendre la construction du dédoublement, la modernisation, l'électrification et des nouvelles lignes, la construction des gars moderne pour les passagers et les marchandises a été aussi un peu partout à travers le territoire national.

Parmi les objectifs stratégiques, l'Etat doit mettre en œuvre un plan national visant à relier toutes les régions d'Algérie à un réseau ferroviaire, afin de réaliser un réseau capable de dynamiser l'économie nationale.

I.2 LE CHEMIN DE FER

Les systèmes ferroviaires nécessitent une infrastructure particulière appelée voie ferrée. Les véhicules sont guidés par une ou plusieurs files de rails fixés sur des traverses au moyen, en France, de tirefonds. Le ballast est une couche drainante sur laquelle reposent les traverses. Il permet d'affiner la géométrie de la voie, par exemple pour créer un dévers en courbe. Les véhicules étant guidés par les rails, ils ne peuvent pas changer de direction sans utiliser une installation particulière. La plupart du temps il s'agit d'un aiguillage, manœuvré soit à pied d'œuvre soit d'un poste d'aiguillages.
Le matériel ferroviaire, de par sa technique de roulement, ne peut pas monter ou descendre de pente trop importante, ni effectuer de courbe trop prononcée. Pour s'adapter au terrain, la construction des lignes de chemin de fer a nécessité l'établissement d'Ouvrages d'art : ponts, viaducs et tunnels. La voie peut aussi croiser la route à un passage à niveau.

La distance entre les deux rails de roulement (cas le plus fréquent) est appelée écartement. Elle est mesurée entre les faces internes du rail. L'écartement le plus communément répandu est celui de la voie normale : 1,435 m (standard UIC). Au-delà, on parle de voie large, en dessous il s'agit de voie étroite.

Certains trains sont mûs par de l'électricité et nécessitent des infrastructures spécifiques dès lors qu'ils ne fournissent pas eux-mêmes leur énergie. Dans la majorité des cas, cette alimentation en énergie se fait par une caténaire suspendue au-dessus des voies, le train venant capter le courant grâce à un pantographe ou une perche. Les métros et certains pays (Angleterre) utilisent un troisième rail latéral : le captage est alors assuré par des patins. D'autres systèmes utilisent un troisième rail central, par exemple le nouveau tramway de Bordeaux.

Dès lors que deux trains peuvent circuler en même temps sur une ligne commune, il est nécessaire d'établir des règles de circulation afin de garantir la sécurité. Comme sur route, une signalisation a été mise en place ainsi que des systèmes de prévention des risques ferroviaires. Un de ces systèmes est le cantonnement, qui interdit à un train d'entrer sur une section de ligne où se trouve déjà un autre train.

Comme tout transport en commun, les trains ne s'arrêtent pas n'importe où. Les voyageurs prennent le train dans une gare pour descendre dans une autre, parfois après avoir eu à effectuer des correspondances. Les marchandises sont chargées sur des wagons dans une gare de fret ou sur un embranchement particulier. Elles changent de direction dans des triages. Les containers sont chargés et déchargés à un terminal de transport combiné.

Les infrastructures ferroviaires nécessitent un entretien constant. Il s'agit d'opérations diversifiées, dont la nature dépend de la nature de la voie elle-même et des conditions dans

lesquelles elle se trouve implantée : déneigement, Renouvellement Voie Ballast, inspection des ouvrages d'art, désherbage, etc...

I.3 LA NAISSANCE DE CHEMIN DE FER

Les deux principales composantes du chemin de fer « les voies et la locomotive ont été développées durant la révolution industrielle (1750-1840). Pour des raisons politiques et économiques, où il a été construit pour atteindre des zones isolées et aider à renforcer l'unité politique. La première voie ferrée au monde est mise en service en 1825 au Royaume-Uni par L'ingénieur George Stephenson qui relie par rails les villes de Stockton et Darlington. Sur cette ligne destinée au transport du charbon, les wagons étaient tirés par des locomotives à vapeur.
En 1830, la première ligne de chemin de fer destinée aux voyageurs est construite entre Manchester et Liverpool. C'est sur cette ligne à deux voies, uniquement empruntée par des locomotives à vapeur, qu'est mis pour la première fois en service le transport régulier de voyageurs.

I.4 HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER EN ALGÉRIE

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

Le 30 juin 1959, l'État français et l'OCFA signent une convention créant la Société nationale des chemins de fer français en Algérie (SNCFA).

La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCFA) le 16 mai 1963. Le matériel français est conservé mais, rapidement, des commandes de locomotives et de voitures, provenant des Pays du bloc soviétique, complètent le parc.

En 1975, le révolutionnaire Trans-Maghreb Casablanca-Oran-Alger-Tunis, entièrement composé d'un nouveau matériel INOX construit en France, est mis en service. Mais très rapidement, des problèmes politiques entre les États traversés provoquent sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'État français, l'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts, La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'engineering et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF).

Un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la SNERIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990 pour devenir un EPIC. À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.
En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.

En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.

En 2015, sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

Le 10 septembre 2018, la mise en service du système de télécommunication ferroviaire GSMR pour la première fois en Afrique,

Le 13 octobre 2019, mise en service d'une nouvelle ligne reliant Alger à Touggourt. Elle est desservie par un train de longues distances offrant des compartiments couchettes de 1ère et 2ème classe.

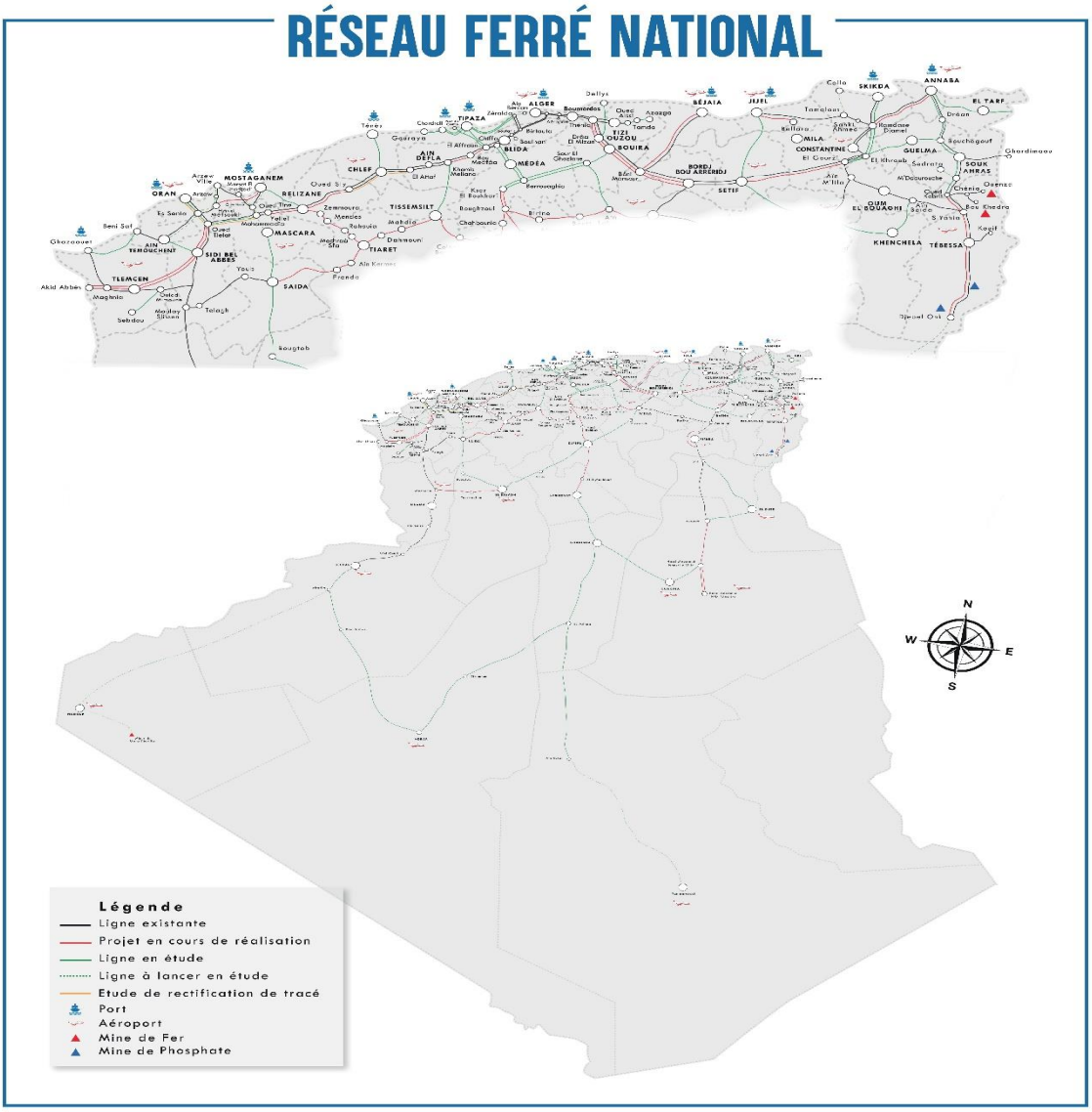


Figure I.1 Les réseaux ferroviaires algériens

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJE

II.1 INTRODUCTION

Les projets de dédoublements de voie sur des lignes existantes à voie unique, en générale avec rectification local de tracé, ont pour objectif principal d'augmenter les capacités de transport sur des lignes à voie unique saturées ; ils conduisent également à améliorer la qualité de l'offre de service, particulièrement pour ce qui concerne le trafic des voyageurs (amélioration de la ponctualité des trains, augmentation des vitesses).

Dans ce cadre le projet de dédoublement de la ligne ferroviaire Sétif / Ghourzi s'inscrit dans le programme complémentaire du soutien à la croissance initié par le gouvernement algérien.

II.2 APERÇU SUR LA VOIE EXISTANTE

La ligne de Sétif/ Ghourzi relie ligne Alger - Constantine sur 108 km, exploiter en voie unique, non électrifié avec une
vitesse de 70 km/h à 80 km/h. elle présente les caractéristiques techniques suivantes :

- Longueur de la ligne : 108 km
- Écartement des rails : 1435 mm
- Déclivité maximale : 13 ‰
- Rayon minimum de courbe : 400 m
- Gares principales : 08
- Traction : Diesel
- Passages à niveau : 65
- Vitesse : 80 km/h

Le dédoublement de la ligne Sétif – Ghourzi nécessite de prendre en considération les caractéristique et les éléments de tracé de la voie actuelle, afin de déterminer les modifications qui seront apportés pour la modernisation de cette dernière.

II.2.1 Les caractéristiques géométriques du tracé

Sur cette ligne on s'intéresse à étudier les éléments du tronçon (El Eulma-Bir Al Arch) de Pk 340+800 au Pk 352+633
D'après le profil en long de la voie existante, le tracé est constitué d'alignement droit qui varie de 100 m à 2500 m et des courbes de rayons très serrées qui épousent le relief.
Le tableau ci-dessous illustre les différents rayons de courbe dont se compose notre tronçon :

Tableau II.1 Tableau récapitulatif des rayons de courbe existant

Courbe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rayon	500	500	500	1300	700	700	700	600	800	1200	1160

L'objectif de cette modernisation c'est d'atteindre une vitesse maximale de 160 km/h, le rayon minimal correspondant à cette vitesse est de 1000 m (calcul de R_{min} dans le chapitre IV).
D'après le tableau précédent on constate que presque la totalité des rayons sont inférieurs à 1000m.
Finalement un grand changement sur les courbes s'impose, à l'exception des courbes qui se situent au début ou à la fin des gares qui peuvent avoir un rayon inférieur au rayon minimal, car les vitesses d'entrées et de sorties des gares sont faibles

II.2.2 Gare

Sur notre tronçon d'étude du Pk 340+800 au Pk 352+633 on trouve une gare **d'El Eulma** (PK 338+722 au PK 340+850)

Le but c'est de maintenir l'emplacement de la gare de El Eulma pour garder les même arrêts, et elle doit être placée sur un alignement droite entre les appareils de voie et en palier sur le profile en long.

Quelques modifications seront apportées sur la disposition de la gare, car il faut augmenter la longueur des voies d'évitements pour accueillir les trains marchandises.

L'aménagement de nouveaux quais (quai voyageur et quai marchandises) sera apporté pour la gare.

II.3 OBJECTIF DU PROJET

- L'un des objectifs recherché est d'augmenter les fréquences et la vitesse commerciale des trains, le réseau ferré doit faire face à un trafic relativement important sur l'artère Est – Ouest
- Développement des activités socio-économiques et des zones industrielles de la région.
- Amélioration du confort et de sécurité.
- Fournir aux utilisateurs un moyen de transport plus rapide et moderne.
- Augmenter la part du transport ferroviaire dans cette région.
- Réduire les coûts d'aménagements des nouvelles infrastructures en maintenant le même couloir.
- Augmenter et optimiser l'utilisation de cette voie par les dirigeants du secteur ferroviaire au niveau de cette région.

II.4 PRÉSENTATION DU SITE

est une commune de la wilaya de Sétif, située à 26 km à l'est de Sétif et à 97 km à l'ouest de Constantine, en Algérie. La ville d'El Eulma est la deuxième agglomération de la wilaya de Sétif par sa superficie (74,20 km^2) et sa population (155 038 habitants en 2008).

La Wilaya de Sétif est limitée par les wilayat suivantes :

- Bejaïa et Jijel au Nord
- Bordj-Bou-Arreridj à l'Ouest
- Mila à l'Est
- M'Sila et Batna au Sud

Elle est composée de 60 communes et 20 Daïra avec une population de 1 489 979 habitants (RGPH 2008) et une superficie de l'ordre de 6504 km^2

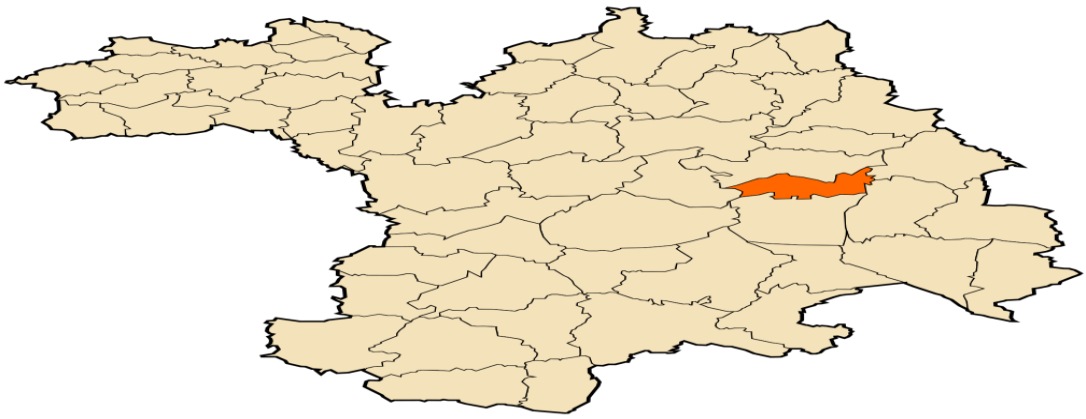


Figure II.1 Plan de situation de la zone d'étude

II.4.1 Relief du site

Une zone des hautes plaines elle occupe la région centrale dont l'altitude varie entre 800 et 1300 m.

II.4.2 Climat

Le climat est continental avec des étés chauds et secs et des hivers rudes. Le mois le plus pluvieux est avril et le plus sec est juillet.

II.4.3 Sismicité

La norme sismique algérienne applicable au projet est la RPOA. Cette norme établit un zonage sismique (5 zones) du territoire algérien.

- Zone 0 : négligeable
- Zone I : faible
- Zone IIa : moyenne
- Zone IIb : élevée
- Zone III : très élevée

Notre projet se trouve entièrement dans la wilaya de Sétif, correspondant à la zone IIa (activité sismique moyenne).

II.5 PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE

En particulier, notre projet consiste à faire l'étude d'un dédoublement de la voie et rectification de tracé pour augmenter la vitesse à 160 km/h sur le tronçon du Pk340+800 au Pk 352+633 de la ligne Sétif /Ghourzi avec conception de la gare de El Eulma.

Le tronçon de 12km qui fait objet d'étude, traverse les communes d'El Eulma et Bir Al Arch

Les caractéristiques géométriques de la voie lui confère la possibilité d'offrir des vitesses pouvant atteindre les 160 km/h avec des charges à l'essieu de l'ordre de 22 ,5 tonnes et des trains de 1200 mètres de longueur, écartement de la voie standard 1435 mm.

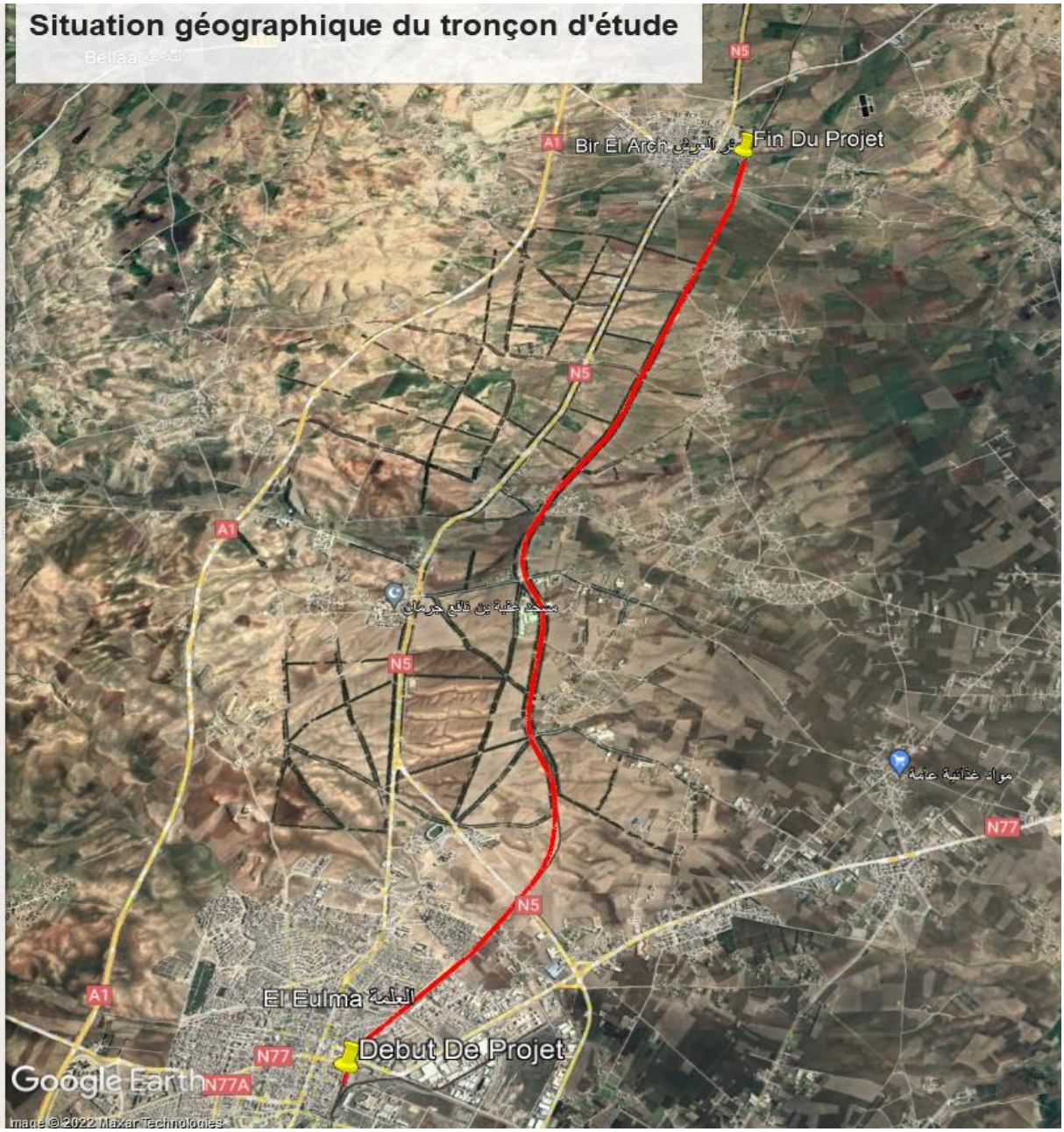


Figure II.2 Situation géographique du tronçon d'étude

II.6 CONCLUSION

Notre travail consiste à faire une étude APD d'un dédoublement d'un tronçon sur la ligne Sétif / Ghourzi a allons de Pk 340+800 au Pk 352+633, en tenant compte de la rectification de tracé existant, puisqu´il faut adapter la voie actuelle aux exigences de modernisation pour permettre d´atteindre une vitesse de 160 km/h.

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III.1 INTRODUCTION

L'infrastructure ferroviaire comprend tous les aménagements qui assurent l'asservissement du véhicule à ses voies, c'est-à-dire permettant d'assurer la portance, le guidage et la maintenance dans un volume libre de tout obstacle, les équipements nécessaires pour garantir en toute sécurité cette fonction.

Les composants de la superstructure de la voie sont: le ballast, les traverses, les rails et leurs accessoires.

Le but de ce chapitre est de fournir au lecteur une idée simple mais basique de ce qu'est un chemin de fer et de ses composants.

III.2 LA VOIE

Dans le domaine du transport ferroviaire, la voie désigne l'ensemble des éléments qui assurent le mouvement du train en supportant les efforts latéraux, longitudinaux et verticaux de l'interaction voie/essieu.

Une caractéristique fondamentale des chemins de fer est le guidage mécanique du véhicule, avec des roulements acier-acier offrant une faible résistance.

III.2.1 Catégorie de voies

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories. Chaque voie sous-entendant une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi :

- Les voies principales, affectées à la circulation des trains.
- Les voies de circulation affectées à la desserte interne des grands complexes ferroviaires.
- Les voies de service, affectées aux manœuvres, qui peuvent être d'anciennes voies principales déclassées.
- Les voies d'éventement, qui permettent à deux trains circulant à contre-sens sur une voie unique de se croiser.
- Les voies de garage, qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.

III.2.2 Rôle de la voie

La voie a pour rôle deux functions principals:

- Supporter et guider le matériel ferroviaire.
- Transmettre et guider les charges des essieux au sol naturel qui doit se faire sans déformation sensible de ce dernier.

III.2.3 Caractéristique de la voie

Pour construire une voie moderne qui répond aux normes internationales et grâce au développement technologique, on adopte (d'après la SNTF) les éléments constitutifs suivants:

- Les longs rails soudés (LRS).
- Les traverses en béton bi-bloc type SL.
- Les attaches élastiques de type NABLA.

- L'écartement de la voie est de 1,435m (écartement normal).

III.2.4 Les composantes de la voie

❖ **Les rails**

Le rail est le premier élément entre le train et la voie, et la caractéristique essentielle du rail est le poids au mètre linéaire. Constituent les chemins de roulement et les guides, ils sont aussi les conducteurs électriques du circuit de traction et servent de support au courant de signalisation. Les longueurs des rails sont de 18m et 36m.

1. **Le rôle du rail**

Son importance est primordiale et direct, il assure:

- Transfert et redistribution des charges verticales de la roue à la pouter.
- Guidage latéral des roues, afin que les forces latérales puissent être absorbées et transmises aux traverses.
- Surfaces de roulement lisses et répartition des forces de freinage et d'accélération.
- Retour du courant de traction sur les lignes électriques et conduction du courant dans les circuits de voie pour les dispositifs de sécurité.
- Le guidage des roues afin que les matériels roulants ne soient pas déraillés.

2. **Différents types de rails**

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

a) Rail à gorge

Ces rails sont utilisés pour les voies encastrées dans les chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

b) Les rails à double champignons

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

c) Le rail Vignole

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

Pour cela en présente le profil de rail utilisé actuellement (rail VIGNOLE).

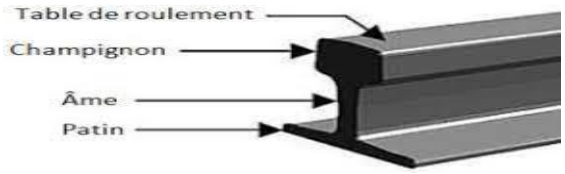


Figure III.1 Les constituants de la section transversale de rail

❖ **Assemblage des rails**

Les rails sont fabriqués en longueurs comprises entre 18 et 36 mètres, afin d'établir la solidarité des armatures formant les rails, nous sommes obligés de les relier solidement à leurs extrémités, pour réaliser cette liaison nous utilisons des éclisses et des soudures :

1. **Eclisse** : Une éclisse fait partie intégrante d'une voie ferrée, c'est une pièce métallique boulonnée au rail, qui permet la liaison entre deux rails consécutifs. Ils sonr souvent utilizes à proximité des aiguillage

2. **Soudures :** Les rails de 18m à 36m sont fabriqués et transportés par train jusqu'à un atelier de soudure électrique, où la soudure électrique permet de produire des électrodes longues (appelées "LRS"), transportées par des véhicules spéciaux (généralement des trains), déposées sur des rails neufs ou des rails longs en réparation, ces LRS forment une unité de base assez longue (400 mètres) qui sera soudée entre ells par des soudure aluminotherlique.

En voie ferrées, les rails reposent sur un plancher constituer par les travers, cette dernière pièce est posée en travers de la voie.
Il ne sera question que des traverses les plus utilisées en Algérie :

1. **Les traverses en bois :** utilise généralement au niveau des appareils de voie
2. **Les traverses en béton**
   a) **Bibloc** : deux blocs sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement.
   b) **Monobloc :** poutre en béton précontrainte elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages).



FigureIII.2 Traverse en BA

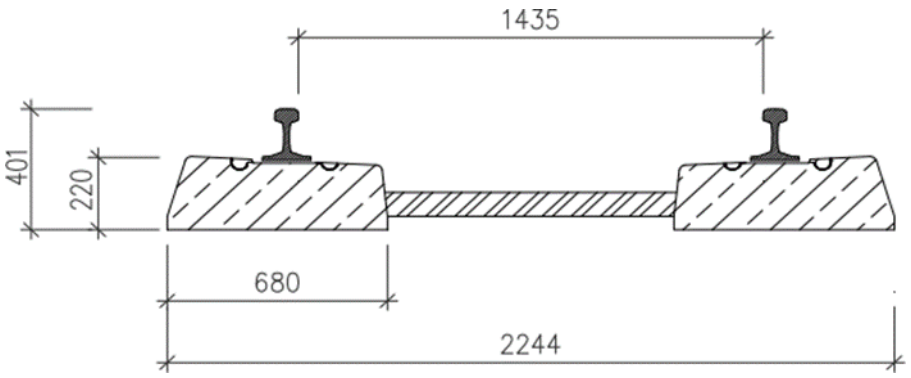


Figure III.3 Travers bibloc

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

Rôle de travers

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

❖ Les Attaches

L'attache est un matériel de fixation, elle permet la fixation du rail au traverse, il existe plusieurs types d'attaches mais les plus utilisé et connues sont les savants:

- Les anciennes attaches pour les traverses en bois étaient des crampons puis des Tirefonds. Le premier type serrait mal le patin, le rail pouvant alors se relever de la traverse et le deuxième était tellement rigide que le rail pouvait soulever la traverse en se redressant.
- Pour les traverses métalliques, le système d'attache est constitué de boulons qui fixent les crapauds sur le patin.



Figure III.4 Attache type nabla

❖ **L'appareil de voie:**

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

Il existe trois catégories d'aiguilles:

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

En général, les appareils de voie sont construits en atelier avant d'être installées à leur emplacement définitif, trois éléments constitutifs permettent de construire tous ces appareils:

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

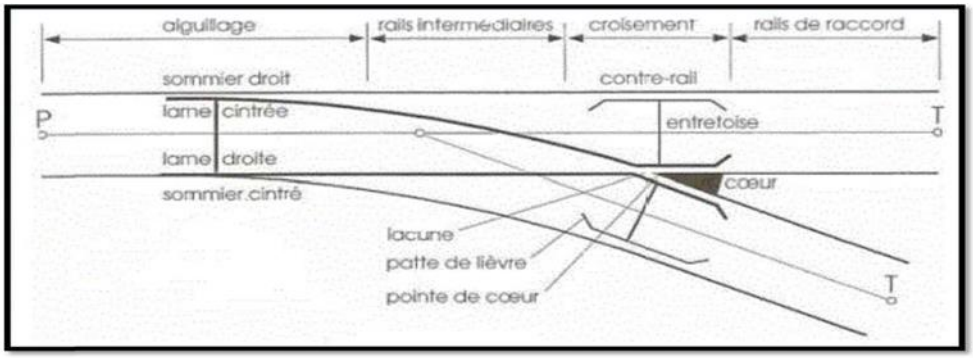


Figure III.5 Un branchement et ses éléments constitutifs.

III.3 CARACTÉRISTIQUE ET TYPE D'INSTALLATION POUR NOTRE PROJET

Dans notre projet on utilise le rail Vignole du type **UIC 54**

Les caractéristiques du rail UIC 54 sont les suivantes :

- Degré de l'acier : 260 (Carbone-manganèse)
- Section : 6.934 mm2
- Poids : 54,43 kg/m
- Résistance à la traction : R≥880 N/mm2
- Dureté : 260/300 HBW
- Allongement : A ≥ 10%
- Moment d'inertie axe horizontal : 2.346 cm4

- Moment d'inertie axe vertical : 417,5 cm4

La superstructure à été dimensionné selon les normes UIC703R.

III.3.1 Voie courante

- Rail UIC 54.
- Traverse bibloc type B440 (ancienne Vax U31).
- Attache élastique pour la traverse B440.

III.3.2 Voie de service en gare

- Rail UIC 54.
- Traverses bibloc B440, type Vax U31.
- Traverses en bois entre les appareils de voie et les tronçons de transition entre les appareils de voies avec les traverses en béton.
- Attache élastique pour la traverse B440.

III.3.3 L'appareil de voie

- UIC 54, R500-1/12
- UIC 54, R300-1/9
- UIC 54, R190-1/9

III.4 CONCLUSION

Le choix des éléments de voie est probablement la partie la plus importante, qui déterminera les choix de conception alliant sécurité et économie, ainsi l'optimisation économique de notre projet reposera principalement sur le choix des équipements qui composent la voie.

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie vise à obtenir un bon roulage du véhicule, il faut donc rechercher la géométrie optimale pour donner la surface de roulement.

Afin d'obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé géométriquement uniforme, nous allons donc apporter des modifications au tracé existant tout en respectant les contraintes imposées par la nouvelle vitesse (160km/h) en termes de rayon et de Clothoide.

IV.2 TRACÉ EN PLAN

Le tracé en plan d'une voie ferrée est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif, chaque ligne est caractérisée par deux vitesses :

V_{max} : vitesse des trains rapides (voyageurs)
V_{min}: vitesse des trains lents (marchandises)

IV.2.1 Les Elément de tracé en plan

Le tracé en plan d'une voie ferrée est constitué d'alignements et de courbes raccordés le plus souvent entre eux par des éléments de transition.

- **L'alignement**

Un alignement droit est une courbe de rayon infini (R=∞) ; sur le plan technique c'est le meilleur trace qui convient aux voie ferrées (la force centrifuge est nul).

- **La courbe**

Par cette appellation, on désigne les courbes dans le plan ainsi que les éléments de transition qui y sont associés (cercle et courbe de raccordement), les paramètres de la courbe sont définis par rapport à l'axe de la voie.

1. Arcs de cercles (R=constante)

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt aux raccordements circulaires. Vu le poids important des convois, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base d'où le raccordement entre les alignements se fait avec les arcs de cercles, ces derniers doivent assurer un passage sécurisé et confortable des trains afin d'éviter le déraillement.

2. Courbes de raccordement (R=variable)

C'est l'élément géométrique qui relie l'alignement à l'arc, et sa courbure varie progressivement du rayon R=∞ en fin d'alignement à une valeur constante R en début d'arc.

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement, mais la plus utile est la Clothoid, qui assure stabilité et confort avec un aspect esthétique agréable grâce à son changement linéaire de courbure.

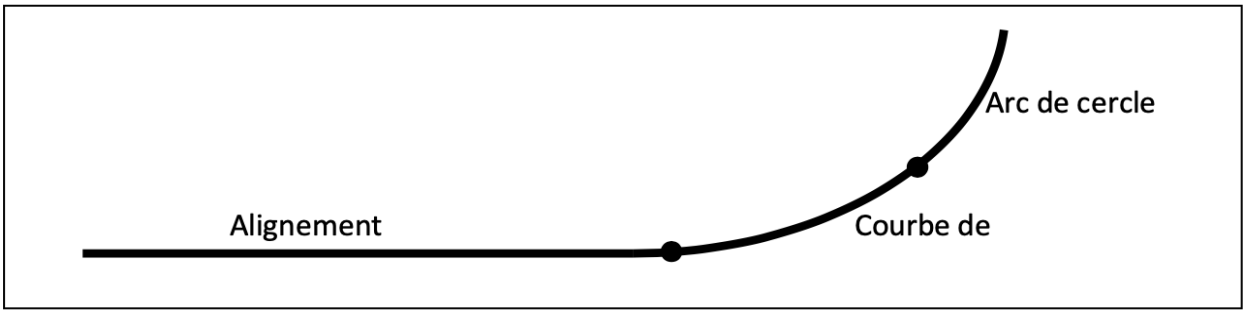


Figure IV.1 Éléments du tracé en plan

IV.2.2 Conditions a respecté dans le tracé en plan

Pour faire un tracé économique et technique, on doit analyser les facteurs les plus déterminants et respecter les règles suivantes :

- Évitez de traverser des terres agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Pour des raisons économiques, évitez de traverser l'oued pour éviter un maximum d'œuvres d'art.
- Eviter les sites sensibles aux problèmes géologiques.
- Essayez d'utiliser des maximums d'alignement en ligne droite et respectez les longueurs minimales.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz, des transformateurs électriques.

IV.2.3 Condition de raccordement

Paramètres relevant de confort et de cout de maintenance :

- Excès de dévers.
- Variation de l'insuffisance de dévers.
- Longueur des éléments du tracé.

Paramètres relevant de la sécurité :

- Le rayon de la courbe.
- La variation de courbure.
- L'insuffisance de dévers.

IV.2.4 Les paramètres de conception du tracé de la voie

IV.2.4.1 Données de base

Vitesse des trains de voyageurs : Vv = 160 Km/h
Vitesse des trains de marchandises Vm = 100km/h.

IV.2.4.2 Le dévers

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. Une courbe est posée en devers lorsque la file de rail extérieur a la courbe est surélevée par rapport à la file de rail intérieur a la courbe et en contre-dévers

lorsque la file de petit rayon est surélevée par rapport à l'autre. Ce surhaussement permet de compenser une partie de la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire.

❖ **Devers Théorique**

La valeur théorique du dévers qui compense entièrement la force centrifuge est égale à

$$\text{dth} = \frac{11.8 \times \text{Vmax2}}{\text{R}}$$

Avec : dth en (mm), V : vitesse en (km/h), R : rayon en (m).

❖ **Dévers réel ou pratique**

a) Influence du trafic mixte (voyageurs et marchandises) sur la valeur du dévers

En pratique, rouler en dévers théorique est impossible car les trains roulent à des vitesses minimales différentes selon leur nature (trains lents et trains rapides), Pour cela, il a été convenu de définir un devers réel.

b) Fixation du dévers Réel

- une première approche du dévers réel

$$0,5\text{dth} < \text{dp} < 0,7\text{dth}$$

- La seconde formule pour fixer le dévers réel, prend en considération le coefficient de dévers C

$$\text{dp} = \frac{1000 \times \text{C}}{\text{R}} < \text{dp (max)} \qquad \text{ou} \qquad \text{C} = 0.006 \times \text{Vmax}^2$$

C doit être un multiple de 15

Tel que :

- dp : Devers pratique
- R : Rayon de courbe (m)
- C : Coefficient de dévers

c) le divers maximal dp(max) en plain courbe

La valeur de divers maximal doit satisfaire la condition suivante :

Tableau IV.1 Valeurs limites du déver

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
160	180

IV.2.4.3 Insuffisance de divers

Le dévers théorique qui assure l'équilibre de train rapide est supérieur aux dévers pratique, ce qui donne des efforts transversaux non compense qui peuvent présenter un danger au-delà d'une certaine vitesse (déplacement ou dégradation de la voie ou déraillement), Donc on limite la valeur de ces efforts en limitant la valeur de la différence des devers. C'est la limitation de la valeur de l'insuffisance de devers I

Insuffisance de divers est exprimée par la formule

$$\mathrm{I} = \frac{11.8 \times \mathrm{Vmax2}}{\mathrm{R}} - \mathrm{dp} \leq I_{\mathrm{lim}}[\mathrm{mm}]$$

Limitation d'Insuffisance de divers en plain courbe

La SNTF à retenu Pour une vitesse V≤220 Km/h

Tableau IV.2 Valeurs limites de l'insuffisance de déver

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
150	160

IV.2.4.4 Excès de devers

Lorsque le train de marchandises roule très lentement dans une courbe, il ressent le dévers installé pour le train rapide comme un excès de dévers noté « E ». Ce type de train, pour lequel le dévers théorique est inférieur au dévers pratique (dth < d), exercent sur la voie des efforts transversaux dirigés vers l'intérieur de la courbe.

Excès de divers est exprimé par la formule

$$\mathrm{E} = \mathrm{dp} - \frac{11.8 \times {V_m}^2}{R} \leq E_{lim}[\mathrm{mm}]$$

Limitation de l'Excès de divers en plain courbe

La SNTF a retenu Pour une vitesse V≤220 Km/h

Tableau IV.3 Valeurs limites de l'excès de dévers

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
110	130

IV.2.4.5 Rayon minimum de l'arc de cercle

Afin de limiter l'effet de la force centrifuge sur la voie, d'éviter l'usure de la voie et d'assurer le confort des passagers, une valeur minimale est admise pour le rayon.

- **Le divers pour le rayon minimum**

$$\mathrm{d(Rmin)} = \frac{\mathrm{Emax.\,Vvoy^2 + Imax.\,Vmar^{\,2}}}{\mathrm{Vvoy^2 - Vmar^{\,2}}} < \mathbf{dpmax}$$

- **La valeur de rayon minimal est le max entre**

- En fonction de I et Dp (Vitesse voyageurs)

$$\mathrm{Rmin} \geq \frac{11.8 \times {v_{max}}^2}{\mathrm{Imax} + d_{max}}$$

- En Fonction de E max et Imax

$$\mathrm{Rmin} = \frac{11.8(\mathrm{Vvoy^2 - Vmar^{\,2}})}{\mathrm{Imax + EMAX}}$$

IV.2.5 Courbe de raccordement

La discontinuité de courbure au point de contact entre la droite et l'arc de cercle provoque l'apparition instantanée d'accélération transversale. De tels changements soudains d'accélération transversale sont indésirables du point de vue du confort des passagers et de la stabilité transversale du véhicule. Par conséquent, il est nécessaire d'introduire une connexion entre l'alignement et la courbe circulaire qui garantit un changement progressif de l'accélération.

Parmi les courbes mathématiques qui satisfont à la condition souhaitée d'une variation continue de la courbure. On choisit la clothoïde

On construit des courbes de raccordement entre :

- Un alignement et une courbe.
- Entre deux courbes de même sens avec des rayons différents.
- Une courbe et contre courbe.

L'emploi des courbes de raccordement se justifier par le calcul de la courbure Δc.

Tableau IV.4 les valeurs de la courbure

Alignement-courbe	$\Delta c = \frac{1000}{R}$
deux Courbe de même sens avecR1≠R2	$\Delta c = \frac{1000}{R1} - \frac{1000}{R2}$
Une courbe et contre courbe	$\Delta c = \frac{1000}{R1} + \frac{1000}{R2}$

Les courbes de raccordement sont recommandés si

$$\Delta c \geq \frac{2000}{Vmax^2}$$

Les courbe de raccordement sont obligatoires si

Tableau IV.5 limitation de la courbure

V<100km/h	V≥100km/h
$\Delta c \geq \frac{9000}{Vmax^2}$	$\Delta c \geq \frac{7000}{Vmax^2}$

Tableau IV.6 Le calcule Pour le projet

Raccordement recommandé si	Raccordement obligatoire
$R \leq \frac{1000 \times 160^2}{2000} = 12800\ m$	$R \leq \frac{1000 \times 160^2}{7000} = 3657.1m$

IV.2.5.1 Variation de dévers dans le raccordement

Pendant son mouvement sur les raccordements, le véhicule subit une rotation progressive autour d'un axe parallèle à la voie et un généralement limité par l'action des ressorts de suspension. Par conséquent, le gauchissement et la vitesse de rotation doivent être limités pour assurer un roulement régulier dans les raccordements.
Dans le raccordement parabolique, le divers varier progressivement de 0 à dp.

La variation de divers dd sur la longueur dl est exprimé par

$$\frac{dd}{dl} \text{En } (mm/m)$$

Limite da la variation de divers

La variation de divers doits satisfaire aux deux conditions suivantes

- **1ère condition :** fonction de la vitesse du mouvement le plus rapide Cette torsion ne peut pas dépasser les valeurs :

Tableau IV.7 Limite de la variation de devers par rapport à la longueur

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
$\frac{180}{Vmax}\ (mm/m) = 1.125\ mm/m$	$\frac{216}{Vmax}(mm/m) = 1.3125\ mm/m$

Tableau IV.8 Limite de la variation de devers par rapport au temps

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
50 (mm/s)	60(mm/s)

- **2ème condition :** fonction des valeurs du devers et du rayon de la plein courbe adjacente aux raccordements considérés :

Tableau IV.9 Limite de variation de divers en fonction de rayon et devers de la courbe Adjacente

Valeur du dévers en plein courbe	Valeur limite de la variation de dévers
$\frac{(R\ -\ 100)}{2} \geq dp \geq \frac{(R\ -\ 150)}{3}$	$\frac{dd}{dl} \leq \mathbf{2}$ mm/m
$\frac{(R\ -\ 150)}{2} \geq dp \geq \frac{(R\ -\ 250)}{3}$	$\frac{dd}{dl} \leq \mathbf{3}$ mm/m
$\frac{(R\ -\ 250)}{3} \geq dp$	$\frac{dd}{dl} \leq \mathbf{4}$ mm/m

Il en résulte pour la longueur de raccordement Lmin $Lmin = \frac{dp \times Vmax}{180}$

Exceptionnellement $Lmin = \frac{dp \times Vmax}{216}$

IV.2.5.2 Variation de l'insuffisance de divers dans le raccordement

Dès que la vitesse du train est supérieure à la vitesse d'équilibre, le voyageur subit l'effet de la force centrifuge non compensée, due à l'insuffisance de devers.

Dans le raccordement parabolique cette force est croissant et le voyageur doit donc progressivement s'adapter, et si possible inconsciemment, a l'insuffisance constante du plain courbe.

Limite da la variation de l'insuffisance de divers :

Tableau IV.10 Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
75 mm/s	90m/s

IV.2.6 Longueur minimale des éléments de tracé

Afin de ne pas engendrer de sollicitations des véhicules défavorables au confort d'une part et de pouvoir les maintenir par bourrage dressage mécanique lourd d'autre part, les éléments de tracé doivent être d'une longueur suffisante. Courbes avec RP et doucines.

IV.2.6.1 Courbes avec RP et doucines

Les doucines ont des longueurs normales comprises entre 30 et 40 m. La longueur minimale peut-être exceptionnellement abaissée à 20 m.
Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieu de doucines, doivent respecter les valeurs du tableau ci-dessous :

Tableau IV.11 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieu de doucines

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
$\frac{\text{Vmax}}{2} = 80\ m$	$\frac{\text{Vmax}}{3} = 53.33\ m$

- La longueur minimale normale du RP entre milieux de doucines est de 60 m.
- Exceptionnellement cette longueur peut être abaissée à 50 m.

IV.2.6.2 Courbes avec RP sans doucines

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes doivent, dans ce cas respecter les valeurs du tableau suivant :

Tableau IV.12 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes sans doucines

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
$\frac{\text{Vmax}}{3} = 53.33\ m$	$\frac{\text{Vmax}}{5} = 32m$

- La longueur minimale des RP est de 30 m pour le bourrage.

IV.2.6.3 Courbes sans RP

Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes doivent respecter les valeurs du tableau ci-dessous :

Tableau IV.13 Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes sans RP

Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
$\frac{\text{Vmax}}{3} = 53.33\ m$	$\frac{\text{Vmax}}{5} = 32m$

IV.3 APPLICATION AU PROJET

Selon la SNTF on a les données suivantes :

Tableau IV.14 Paramètres géométriques du tracé

Vitesse des trains rapides (voyageurs).	160 km/h
Vitesse des trains rapides (voyageurs).	100 km/h
Excès de dévers (valeur limite normale)	110 mm
Insuffisance de dévers maximum	150 mm
Dévers max	160 mm
Variation de dévers (valeur limite normale)	150 mm
Variation de l'insuffisance de dévers (Valeur limite normale)	75mm/s
Variation de dévers (valeur limite normale)	$1.125 mm/m$

❖ Calcul du rayon minimal

$$\mathrm{d(Rmin)} = \frac{\mathrm{Emax} \times \mathrm{Vvoy}^2 + \mathrm{Imax} \times \mathrm{Vmar}^2}{\mathrm{Vvoy}^2 - \mathrm{Vmar}^2} < \mathrm{dpmax}$$

AN

$$\mathrm{d(Rmin)} = \frac{100 \times 160^2 + 150 \times 100^2}{160^2 - 100^2} = 260\mathrm{mm/m}$$

On utilisé d(Rmin)=160mm/m

- La valeur de rayon minimal est le max entre :

En fonction de I et Dp (Vitesse voyageurs)

$$\mathrm{Rmin} \geq \frac{11.8 \times {v_{max}}^2}{\mathrm{Imax} + d_{max}}$$

AN :

$$\mathrm{Rmin} \geq \frac{11.8 \times 160^2}{150 + 160} = 974.45m$$

On prend $R_{min} = 980\ m$

-On calcule le dévers associé au rayon minimum : $R_{min} = 980\ m$

- En Fonction de E max et Imax

$$\text{Rmin} = \frac{11.8(\text{Vvoy}^2 - \text{Vmar}^2)}{\text{Imax} + \text{EMAX}}$$

AN :

$$\text{Rmin} = \frac{11.8(160^2 - 100^2)}{150 + 110} = 708$$

-On prend une valeur de Rmin qui concorde vec notre tracé :

$$R_{min} = 1000\ m$$

Calculons dp correspond à R=1000 m

$$\text{dp} = \frac{1000 \times 160}{1000} = 160mm$$

IV.3.1 Application au notre projet

On prend le rayon R=1500 m comme exemple pour calculer les dévers et les différents Paramètres correspondant à ce dernier.

- Dévers théorique

$$\text{dth} = \frac{11.8 \times \text{Vmax}^2}{\text{R}} = \frac{11.8 \times 160^2}{1500} = 201.39mm$$

$$\text{dl} = \frac{11.8 \times V_m^{\ 2}}{R} = \frac{11.8 \times 100^2}{1500} = 78.67mm$$

- Le coefficient de devers

$$\text{C} = 0.006 \times \text{Vmax}^2 = 0.006 \times 160^2 = 153.6$$

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

0, 5dth<dp<0,7dth alors dans ce cas on prend C= 165.

- Le dévers pratique

$$\text{dp} = \frac{1000 \times \text{C}}{\text{R}} = \frac{1000 \times 165}{1500} = 110mm$$

- Insuffisance de divers

$$I = dth - dp = 201.39 - 110 = 91.39\text{mm}$$

- Excès de dévers

$$E = dp - \frac{11.8 \times {V_m}^2}{R} = 110 - \frac{11.8 \times 100^2}{1500} = 31.33mm$$

- Les courbes de raccordement sont recommandées

3657.1m<R<12800m

- La longueur de clothoïde

$$Lrp = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{110}{\frac{180}{160}} = \frac{110}{1.125} = 97.77m$$

On prend $L_{rp} = 100m$

- Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur

$$\frac{dd}{dl} = \frac{180}{160} = 1.125mm$$

- La variation d'insuffisance de dévers

$$\frac{dl}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{Vmax}{3.6} = \frac{91.39 \times 160}{100 \times 3.6} = 40.62mm$$

Ci-dessous le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve sur le tracé du tronçon d'étude :

Tableau IV.15 Paramètres du tracé

R(m)	dth(mm)	dl(mm)	(mm)	d_p adopté	I(mm)	E(mm)	$\frac{dd}{dl}$(mm/m)	$\frac{dl}{dt}$(mm/m)	L_{rp} (m)	L_{rp} adopté
1300	232.37	90.77	126.92	130	102.37	39.23	1.125	45.5	115.55	120
1150	262.68	102.61	143.47	150	112.68	47.39	1.125	50.08	133.33	135
1000	302.08	118	165	165	137.08	47	1.125	60.92	146.67	150
2100	143.85	56.19	78.57	85	58.85	28.81	1.125	26.15	75.55	80
1500	201.39	78.67	110	110	91.39	31.33	1.125	13.92	97.78	100
1200	251.73	98.33	137.5	140	111.73	41.67	1.125	18.52	124.44	125

IV.4 CONCLUSION

On peut conclure que l'étude géométrique du tracé de la voie vise à obtenir un bon fonctionnement des trains capables d'atteindre des vitesses de 160 km/h.
Les calculs sont basés sur les paramètres géométriques et techniques préconisés par l'UIC et les règles de la SNTF.

CHAPITRE V: PROFIL EN LONG

V.1 INTRODUCTION

Le profil en long est l'un des trois éléments géométriques d'une voie ferrée et le plus important car il représente la section longitudinale du terrain selon un plan vertical.

C'est de par son bais que l'évaluation du projet ferroviaire se fait, que ce soit sur le plan économique ou technique.

Le profil représentent les différents déblais, remblais, terrassements et ouvrages qui seront présents tout au long du tracé, sa coordination avec le tracé en plan est primordial sur le plan technique, que ce soit la différence de déclivité ou l'emplacement des gares qui doivent se faire selon certains critères.

Il nous présentera chaque partie du projet avec les caractéristiques suivantes:

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

V.2 RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ DU PROFILE EN LONG

Pour faire un bon tracé de projet, plusieurs conditions doivent être considérées:

- Evitez que le rayon dans le profil en long coïncide avec le rayon dans la trace plane.
- Ne dépassez pas la pente maximale.
- Respecter la pente minimale pour assurer un bon drainage.
- Remplace deux cercles voisins dans la même direction par un cercle unique.
- Éviter les hauteurs de remblai trop élevées et respecter les hauteurs maximales dans les déblai.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à certaines règles.

V.3 ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG

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

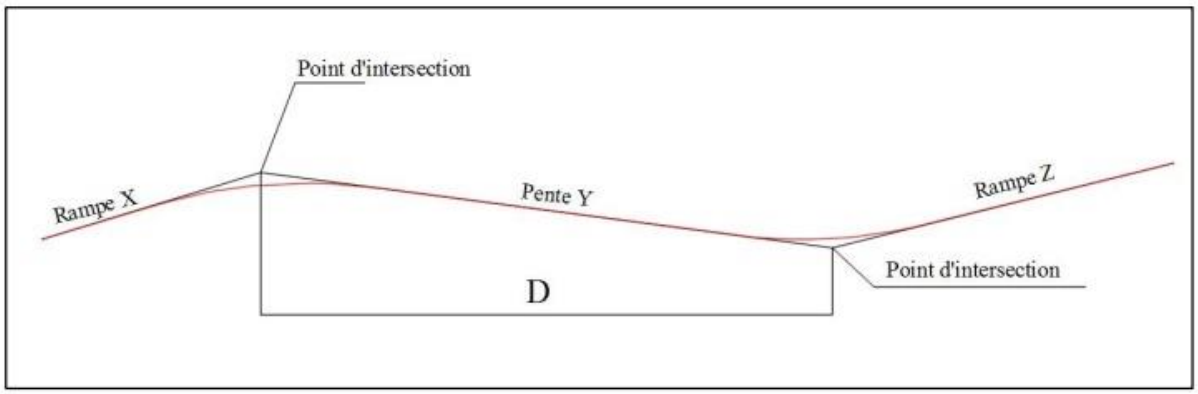


Figure V.1 Element de profil en long Selon

V.3.1 Déclivités maximales

Une déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées.

Ces derniers doivent respecter les exigences du référentiel SNTF pour les recommandations de sécurité et de confort, notamment:

- Pour une longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰. Et Exceptionnellement 18‰.
- Pour une longueur compris entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ a 13‰, exceptionnellement de 18‰ a15‰.
- Pour une longueur supérieure à 15000m, elle ne doit pas dépasser 13‰. Et exceptionnellement 15‰.

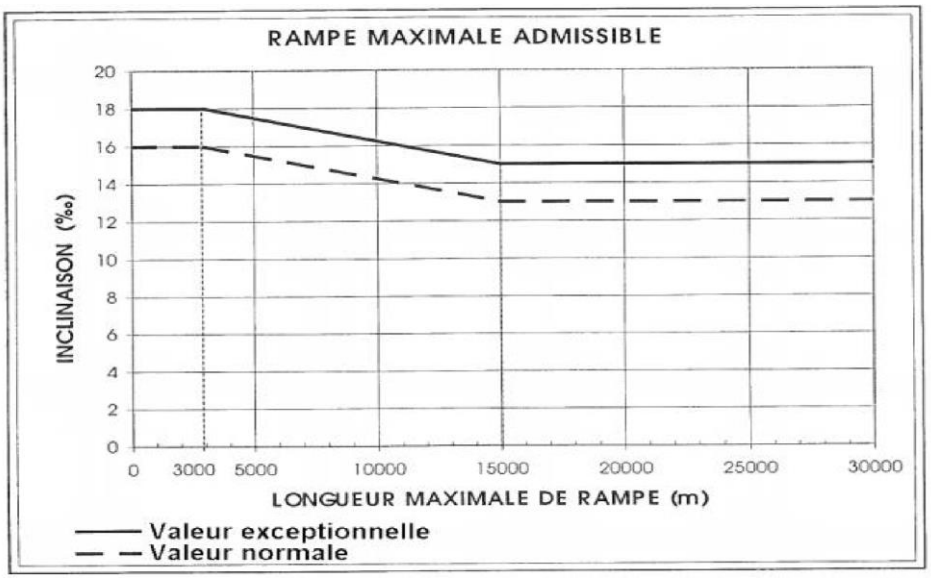


Figure V.2 Valeurs limites d'inclinaison en fonction des longueur de rampe

V.3.2 Longueur minimale des éléments du profil

Afin de permettre l'amortissement des oscillations des suspensions, il convient de définir une longueur minimale des éléments:

Tableau V.1 Les longueurs minimales des éléments de profile en long

Valeur maximal normal (m)	Valeur maximal exceptionnelle (m)
V/2=80	V/2,5=64

V.3.3 Rayon de raccordement en profil (raccord circulaire)

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter les valeurs de rayon du tableau suivant:

Tableau V.2 Valeurs de Rayon vertical minimale

Valeur maximal normal (m)	Valeur maximal exceptionnelle (m)
$0.35\ V^2=8960$	$0.25\ V^2=6400$

La position des cercle par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteur tel que:

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

V.4 APPLICATTION AU PROJET

Tableau V.3 Valeurs des paramètres de profil en long

	Valeur maximal normal (m)	Valeur maximal exceptionnelle (m)
Vitesse (Km/h)	160	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	9000	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	16 ‰	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare	0 ‰	

Tableau V.4 Éléments géométriques du profil en long

N°	Pk	Déclivité (‰)	Rayon (m)	Longueurs (m)
1	339+031.66m	-0.3	10000.00m	86.346m
2	339+389.39m	-8.9	10000.00m	88.997m
3	339+957.93m	0.0	10000.00m	95.989m
4	340+400.06m	-9.6	10000.00m	94.988m

5	341+361.4m	-0.1	10000.00m	69.31m
6	341+795.74m	6.8	10000.00m	32.6154m
7	342+115.31m	3.6	10000.00m	66.215m
8	343+629.03m	10.2	10000.00m	39.818m
9	344+378.77m	6.2	10000.00m	87.571m
10	345+365.11m	-3.0	10000.00m	17.848m
11	347+095.95m	-1.2	10000.00m	22.152m
12	348+101.52m	1.0	10000.00m	81.000m
12	349+131.89m	-7.1	12000.00m	34.328m
13	349+381.12m	-4.2	16000.00m	35.836m
14	349+764.03m	-2.0	10000.00m	40.000m
15	350+258.03m	-6.0	16000.00m	31.999m
16	351+033.85m	-4.0	16000.00m	30.412m
17	351+694.53m	-5.9	10000.00m	59.008m
18	352+464.03m	0.0	10000.00m	50.000m

V.5 CONCLUSION

Nous pouvons conclure que la composition de profil en long est la tâche la plus importante dans notre évaluation des projets ferroviaires, tant sur le plan économique et technique, en examinant la coordination entre la déclivités, le tracé prévu et le profil en long et l'emplacement des gares.

CHAPITRE VI : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1 INTRODUCTION

L'étude hydrologique a pour but de fournir les éléments hydrologiques nécessaires au projet d'exécution de la ligne ferroviaire, elle nous permet de limiter les sous bassin versant le long de notre tracé, ce qui nous pousse à bien connaitre la trajectoire des cours d'eaux qui traversent notre zone d'étude.

VI.2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le tronçon de la voie ferrée traverse plusieurs bassins versants nous recommandons d'étudier l'hydrologie. Des précipitations de forte intensité peuvent provoquer des inondations catastrophiques dans des parties de la voie ferrée où le terrain est favorable à ces catastrophes, et les formations de surface traversées par le projet peuvent rapidement saturer pendant la saison des pluies, modifiant ainsi les caractéristiques géotechniques de la plate-forme, il est donc nécessaire d'avoir une bonne conception de la chaussée du point de vue de l'épaisseur du remblai et un bon système de drainage des eaux pluviales.

VI.3 ETUDE HYDRAULOGIQUE

VI.3.1 Climatologie

Les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, très froid et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de *1°C* à *32 °C* et est rarement inférieure à *-2 °C* ou supérieure à *37 °C*.

VI.3.1.1 Température

Les moyennes mensuelles et annuelles des températures sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VI.1 Les moyennes mensuelles et annuelle des températures

Mois	Jan	fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	annuel
T_{max}(°C)	9.9	10.5	14.4	18.1	22.4	28	32.3	31.4	25.8	21.2	14.1	10.7	20
T_{min}(°C)	1	1	3.6	6.4	10.1	14.6	18	17.9	14.6	11	5.5	2.3	9
T_{moy}(°C)	5	5.3	8.7	12	16.1	21.2	25.1	24.8	19.8	15.6	9.4	6	14

VI.3.1.2 Les vents

Les moyennes mensuelles de la vitesse des vents sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 Les moyennes mensuelles de la vitesse des vents

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
V (km/h)	14	13.9	13.5	13.1	11.9	11.1	11.1	11	11.3	12	13.5	14.1	12.5

VI.3.2 Pluviométrie

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

VI.3.2.1 Pluie moyenne dans la région

D'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH, la pluie annuelle moyenne dans la région est de 450 mm

VI.3.2.2 Pluies annuelles

Les pluies annuelles de la station de Bir Al Arch pour différentes fréquences sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau VI.3 Les pluies annuelles

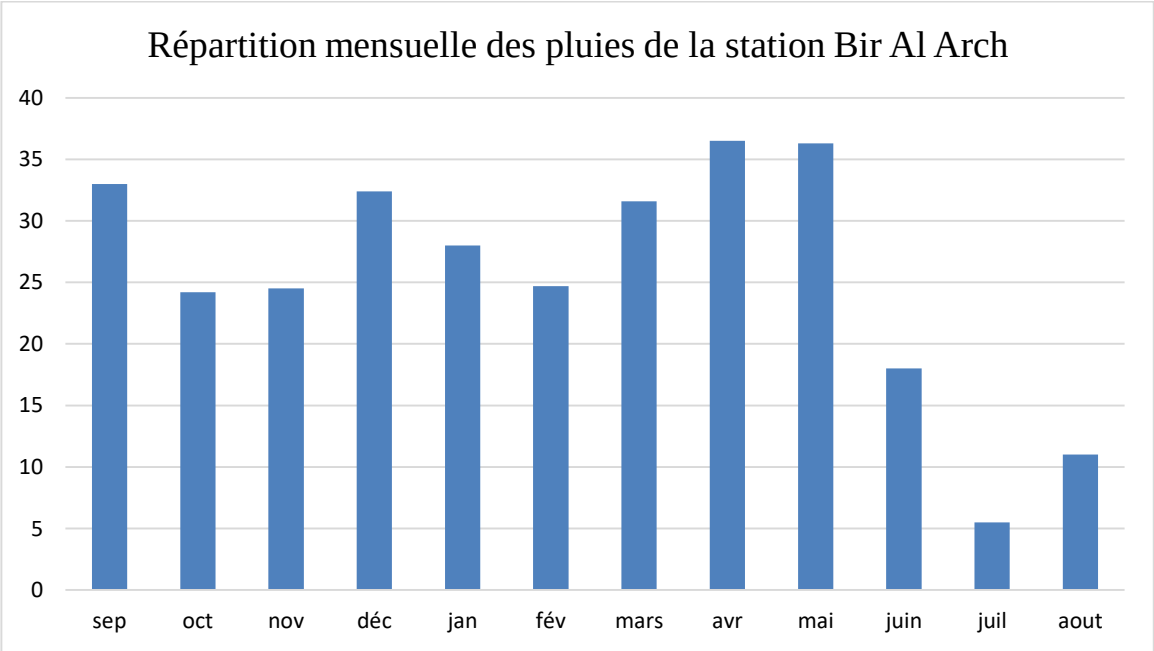
Période de retour	10	50	100
Fréquence	0.9	0.98	0.99
P (mm) Bir Al Arch	424.8	496.8	522.2

VI.3.2.3 Précipitations mensuelles

Répartition mensuelle des précipitations donnée par la station de Bir Al Arch :

Tableau VI.4 Répartition mensuelle des précipitations

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	33.0	24.2	24.5	32.4	28.0	24.7	31.6	36.5	36.3	18.0	5.5	11.0
P (%)	10.8	7.9	8.0	10.6	9.1	8.1	10.3	11.9	11.3	5.9	1.8	3.6



Graphique VI.1 Répartition mensuelle des pluies de la station Bir Al Arch

On remarque l'existence d'une saison sèche qui correspond aux mois de juin à août, avec des pluies moyennes mensuelles égales ou inférieures à 11 mm et une saison relativement humide qui correspond aux autres mois.
La répartition des pluies mensuelle en % nous montre de façon distincte que les mois les plus arrosés correspondent à décembre - janvier en hivers et de mars à mai au printemps ces cinq mois accaparent à eux seuls plus de 50% des précipitations annuelles. Par contre les mois d'été sont largement déficitaires avec moins de 6% du total annuel pour chaque mois.

VI.3.2.4 Précipitations journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales pour des périodes de retour.

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies maximales journalières de la station de Bir Al Arch, représentative de la région d'étude :

Tableau VI.5 Pluies journalières maximales

Période de retour	10	50	100
Fréquence	0.9	0.98	0.99
Pjmax (mm) Bir Al Arch	54.8	76.9	86.2

VI.3.3 Bassins versants

VI.3.3.1 La délimitation des bassins versants

A partir des données existantes dans la cartographie 1/25.000 des cartes de la zone du projet et de la topographie 1/1.000 du couloir de tracé. On a effectué l'identification de toutes les rivières qui croisent la ligne et on a ensuite délimité l'extension de chacun des bassins.

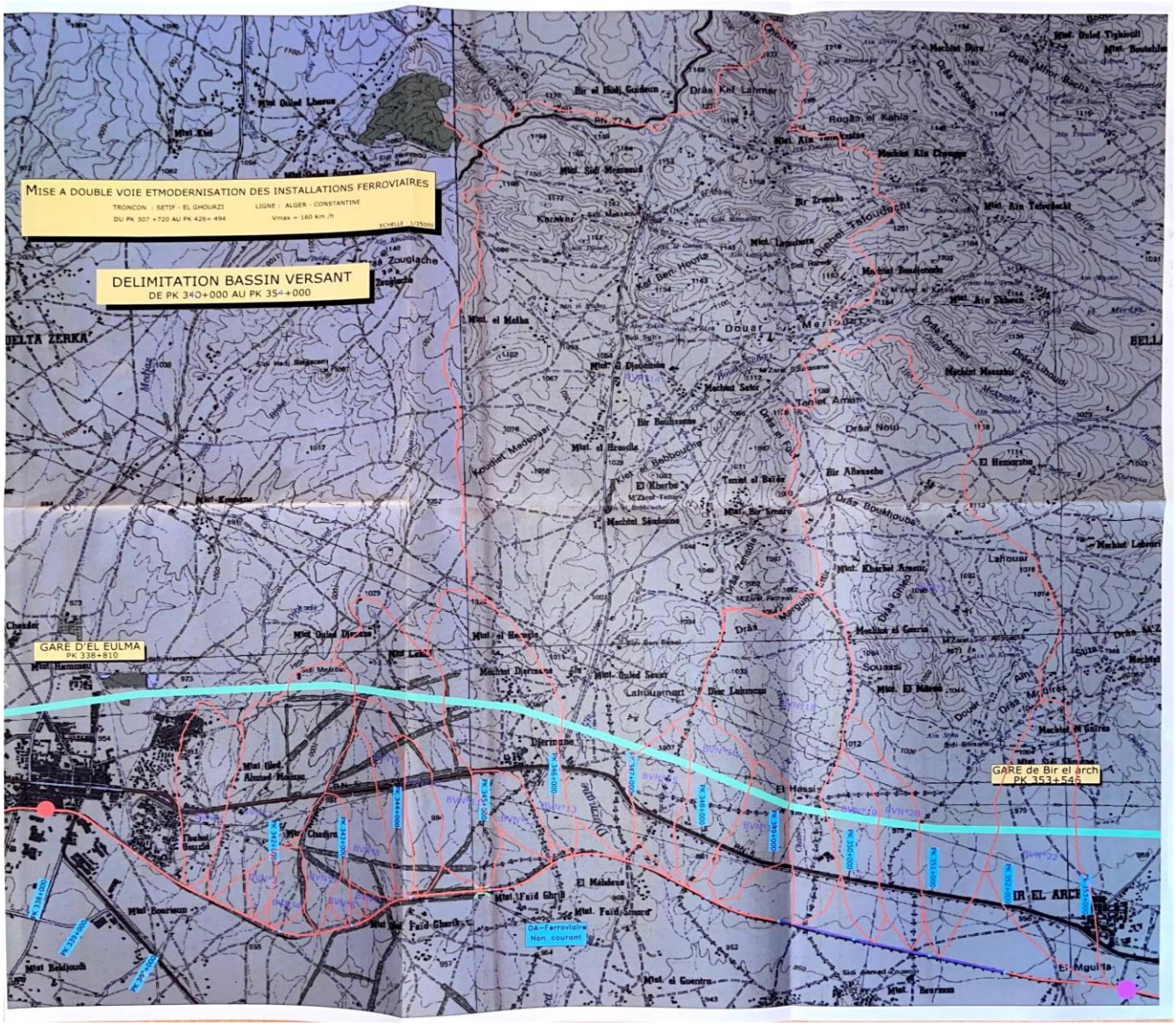


Figure VI.1 La délimitation des bassins versants

VI.3.3.2 Les caractéristiques des bassins versants

Détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante. Les paramètres suivants :

- **S (km^2)** : Surface
- **P (km)** : Périmètre
- **L (km)** : Longueur du cours d'eau principal
- **K_c** : Indice de compacité
- **T_c(h)** : Temps de concentration en heure
- **H_{max}(m)** : Altitude max

- **H_{min}(m)** : Altitude min
- **H_{moy}(m)** : Altitude moyenne
- **C** : coefficient de ruissellement
- **H(m)** : dénivelée spécifique
- **I (m/m)** : pente du bassin

$$I = \frac{\Delta H}{L}$$

Les caractéristiques des bassins versants des écoulements qui traversent la nouvelle ligne ferroviaire « El Eulma- Bir Al Arch » entre PK340+800 et PK352+633 sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VI.6 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

BV	PK	S (km^2)	P (km)	K_c	L (m)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	H(m)	I (m/m)
1	340+380	1,41	5,86	1.38	2620	1020	954	987	66	0,02519
2	341+100	3,30	8,35	1.29	3270	1040	954	997	86	0,02629
3	341+726	0,22	2,00	1.21	860	980	955	967.5	25	0,02907
4	341+813	0,42	2,93	1.26	1091	985	955	970	30	0,02750
5	342+700	0,84	4,69	1.43	1910	994	955	974.5	39	0,02042
6	342+910	0,14	1,68	1.26	680	980	956	968	24	0,03530
7	343+210	0,07	1,21	1.29	360	980	956	968	24	0,06667
8	343+725	1,03	6,18	1.71	2660	1030	955	992.5	75	0,02819
9	344+120	1,19	5,56	1.43	2130	1020	955	987.5	65	0,03052
10	344+154	0,67	4,77	1.63	2100	1000	960	980	40	0,01905
11	344+865	2,86	10,42	1.73	4030	1029	960	994.5	69	0,01712
12	345+985	3,54	9,19	1.37	3520	1026	970	998	56	0,01591

13	346+325	0,6	3,64	1.32	1230	985	970	977.5	15	0,01219
14	346+980	1,32	6,03	1.47	2480	1020	975	997.5	45	0,01814
15	347+550	1,00	4,85	1.36	1960	1010	975	992.5	35	0,01786
16	347+908	38,10	30,78	1.4	11750	1262	978	1120	284	0,02417
17	348+300	1,13	5,13	1.35	1880	1010	974	992	36	0,01915
18	348+920	4,76	11,91	1.53	4540	1064	960	1012	104	0,02291
19	350+328	1,22	5,88	1.49	2540	1012	957	984.5	55	0,02165
20	350+830	1,48	7,25	1.67	3200	1012	955	983.5	57	0,01781
21	352+168	15,83	20,84	1.47	8637	1160	955	1057.5	205	0,02373

VI.3.4 Calcul hydraulique

VI.3.4.1 Calcul du débit maximal dans les bassins

Pour estimer les débits de crue des différents bassins versant obtenus par délimitation, on utilise plusieurs méthodes qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants afin d'évaluer le débit maximal des bassins versants, on a utilisé la formules suivante :

- **La méthode rationnelle**

Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km^2 a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$\mathrm{QA} = 0.278\mathrm{C} \times \mathrm{I} \times \mathrm{S}$$

Dans laquelle :

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

VI.3.4.2 Temps de concentration Tc

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

Pour calculer les Tc des bassins versants nous avons utilisé les 3 formules réglementaires

❖ **Formule de Ventura : (A < 5 Km²)**

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

- **T_c**:Temps de concentration en heure
- **S**:Surface du bassin versant en km²
- **I**: Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

❖ **Formule de Passini : (5Km²<A<25Km²)**

$$T_c = 0.108 \times \frac{(S \times L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{I}}$$

- **T_c**: Temps de concentration (heures)
- **L**: Longueur du talweg (km)
- **I** : Pente du lit (m/m)
- **S**: Aire du bassin (km2)

❖ **Formule de Giandotti : (A > 25 Km2)**

$$T_c = 1.25 \times \frac{(1.5L + 4 \times \sqrt{S})}{\sqrt{h}}$$

- **T_c** : Temps de concentration (heures)
- **S** : Aire du bassin (km²)
- **L** : Longueur du talweg (km)
- **h** : Différence de cotes entre le point le plus éloigné du bassin et la section de référence (m) h= Hmoy – Hmin

VI.3.4.3 Calcul de la fréquence d'averse

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

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

$$P(t) = 1.13 \times Pj\% \times \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

- $Pj\%$: Pluie journalière maximale annuelle
- **b** : Exposant de climatique
- $\mathbf{T_c}$: Temps de concentration (heure)

VI.3.4.4 Calcul de l'intensité de pluie

$$\frac{P(t)}{\mathrm{T_c}} = I$$

- **I:** Intensité de la pluie (mm/h)
- $\mathbf{T_c}$: Temps de concentration(h)
- **P (t)**: Hauteur de la pluie de durée Tc (mm)

Tableau VI.7 L**es** débits de chaque Bassins versants

BV	PK	S (km2)	C	T_c(h)	$P_{tc}(mm)$	I(mm/h)	Q(m³/s).
1	340+380	1,41	0.7	0.95	31,71	33,38	9,16
2	341+100	3,3	0.7	1.42	35,94	25,26	16,22
3	341+726	0,22	0.7	0.35	23,26	66,57	2,85
4	341+813	0,42	0.7	0.5	28,05	43,88	3,59
5	342+700	0,84	0.7	0.81	30,24	37,12	6,07
6	342+910	0,14	0.7	0.25	22,06	74,88	2,04
7	343+210	0,07	0.7	0.13	17,12	131,59	1,79
8	343+725	1,03	0.7	0.77	29,68	38,67	7,75
9	344+120	1,19	0.7	0.79	29,99	37,81	8,76
10	344+154	0,67	0.7	0.75	29,51	39,18	5,11
11	344+865	2,86	0.7	1.64	37,57	22,89	12,74

12	345+985	3,54	0.7	1.90	39,28	20,73	14,28
13	346+325	0,6	0.7	0.89	31,09	34,90	4,07
14	346+980	1,32	0.7	1.08	33,03	30,49	7,83
15	347+550	1	0.7	0.95	31,72	33,37	6,49
16	347+908	38,1	0.7	4.44	51,15	11,52	85,41
17	348+300	1,13	0.7	1.00	31,98	32,78	7,21
18	348+920	4,76	0.7	1.83	38,86	21,23	19,66
19	350+328	1,22	0.7	0.95	31,75	33,30	7,91
20	350+830	1,48	0.7	1.16	35,69	25,67	7,39
21	352+168	15,83	0.7	6.02	56,21	9,34	28,76

VI.4 ETUDE HYDRAULIQUE

VI.4.1 Introduction

Afin de créer un système de drainage opérationnel qui assure la stabilité de l'infrastructure, des études doivent être menées.

Le système doit assurer la collecte des eaux zénithales et de nappes phréatiques, et l'assainissement des plate-formes ferroviaires comprendra :

- Les ouvrages de collecte longitudinale
- Les ouvrages transversaux
- Les ouvrages de raccordement

VI.4.2 Les ouvrages transversaux

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

Ils peuvent être constitués de :

❖ **Buses**

Ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé sur les points bas du terrain
Les dimensions réservées à ces œuvres sont celles qui répondent à la condition suivant :

$$Q_{10} < Qs$$

- **Q10**: Débit de crue 10 ans (débit d'apport) en m³/s
- **Qs:** Débit de saturation de l'ouvrage en m³/s

❖ **Dalots**

Ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifié par la largeur (B) et la hauteur (H).

Les dimensions réservées à ces œuvres sont celles qui répondent à la condition suivant :

$$Q_{100} < Qs$$

❖ **Ponts et viaducs**

Les ouvrages d'assainissement transversaux doivent véhiculer des débits de crue centennaux, Les dimensions réservées à ces œuvres sont celles qui répondent à lacondition suivant:

$$Q_{100} < Qs$$

- **Q100:** Débit de crue 100 ans (débit d'apport) en m³/s.
- **Qs:** Débit de saturation de l'ouvrage en m³/s.

La taille des dalots a été sélectionnée en fonction du débit d'eau entrant, selon le dimensionnement hydraulique effectué avec la formule de Manning-Strickler :

$$Qs = Ks \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

- **Qs**: Débit
- **A**: Superficie de section du dalot.
- **Ks**: Coefficient de rugosité Strickler
- **Rh**: Rayon hydraulique ; $\mathbf{Rh} = \frac{\mathbf{Sm}}{\boldsymbol{Pm}}$ = Section mouillée /Périmètre mouillé
- **I:** Pente de pose de l'ouvrage (m/m)

Tableau VI.8 Valeur de KS selon SETRA

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

VI.4.3 Critère de dimensionnement à respecter

Pour le dimensionnement des différents ouvrages les critères suivants ont été tenus en compte :

- La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).
- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant.
- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 1 %) pour éviter des vitesses trop élevées.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluvial). H > h critique tel que $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Qa}{g \times b^2}}$ pour assurer un écoulement fluvial .

VI.4.3.1 Vérification des conditions d'auto curages

L'auto curage est la capacité des canalisations d'assainissement à transporter des particules solides, donc un bon auto curage nécessite que la capacité de transport des particules solides soit suffisante pour éviter leur précipitation et leur dépôt.
Pour vérifier ces conditions il faut vérifier :

- Vps < 4 m/s
- V > 0.6 m/s pour: Q = 0.1 Qps
- V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps

Coefficient de rugosité Strickler **Ks = 70** (correspond au béton grossier avec coffrage bois).

Forme de construction : Profil circulaire et rectangulaire.

Ce pré-dimensionnement est ensuite vérifié en calculant le débit saturé (QS) de la structure transversale pour un écoulement à surface libre dans un état homogène à l'aide de la formule "Manning Strickler" :

$$Qs = V \times Sm$$

- V: Vitesse d'écoulement d'eau (m/s)
- Sm = Section mouillée de l'ouvrage (m²)

Pour les dalots, la section et le périmètre mouillés sont calculés pour une hauteur de remplissage égale à : Hr = H-0.5

VI.4.4 Application au projet

❖ **Dimensionnement d'un dalot**

Ce sont des ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifiés par la largeur (B) et la hauteur (H).

Dans notre projet, les dalots sont en béton, le ks est donc de 70 nous avons les caractéristiques suivantes :

- La hauteur de remplissage Hr = H-0.5
- Ks = 70 et I=1%

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

- b : largeur nette du cadre (m)
- H : hauteur nette (m)
  0.75H : hauteur de remplissage (m)

- rayon hydraulique : $\mathrm{Rh} = \frac{\mathrm{Sm}}{Pm}$

On utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$\mathrm{Qs} = \mathrm{Ks} \times \mathrm{Sm} \times \mathrm{Rh}^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

VI.4.4.1 Application numérique

Tenant compte le bassin versant N° 9 :

- PK 343+900 ;
- Surface = 1,19 km2
- Débit Q=8,76 m3/s
- Pente I = 1%
- Coefficient de rugosité Strickler Ks =70

Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont :
H=1,5 et B=2,5

$$\mathrm{Qs} = \mathrm{Ks} \times \mathrm{Sm} \times \mathrm{Rh}^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathrm{Rh} = \frac{\mathrm{Sm}}{Pm} = \frac{2.5}{4.5} = 0.56$$

$$\mathrm{Qs} = \mathrm{Ks} \times \mathrm{Sm} \times \mathrm{Rh}^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 70 \times 3 \times 0{,}56^{\frac{2}{3}} \times 0{,}01^{\frac{1}{2}} = 11{,}83(\mathrm{m}^3/\mathrm{s})$$

.

Q_{100}=8.76 <Q_S = 11,83 ➔ vérifiée.

Nous devons ensuite vérifier certaines conditions.

1. **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial**

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\mathrm{Qs}}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{11{,}83}{9.8 \times 2^2}} = 0{,}439m < Hr$$

La condition est vérifiée.

2. **Vérification dès les conditions d'autocurage**

1ere condition :

V < 4 m/s ➔V= Q /Sm ➔ V= 8.76 /2,5 =3,66 m/s < 4 m/s

➔ la condition est vérifiée.

2éme condition

Pour $Q_{100}/Q_{ps}= R_q=0.1$ il faut que $V_{écoulement}> 0.6$ m/s**.**
Rq = 0.1 ➔ Rv = 0.638 = V/V_{PS} ➔ V = 0.638 ×3,66 = 2,34 m/s.
V = 2,34 m/s > 0.6 m/s
➔ la condition est vérifiée.

3éme condition :

Pour Q100 /Qps= Rq=0.01 il faut $V_{écoulement}> 0.3$ m/s
Rq = 0.01 ➔ Rv = 0.315 = V/V_{PS} ➔ V = 0.0945 ×3,66 = =0,35 m/s.
V = 0,35m/s > 0.3 m/s
➔ la condition est vérifiée**.**

Nous devons vérifier hydrauliquement chaque ouvrage transversal :

Tableau VI.9 Vérification hydraulique des ouvrages transversaux

BV	PK	Q (m³/s).	Description constructive	Hu (m)	Pente %	Qs (m³/s)	h_{cr}(m)	V m/s	Si Q=0.1Qp alors V > 0.6m/s	Si Q = 0.01Qps Alors V > 0.3 m/s
1	340+380	**9,16**	**Dalot (2.50x1.50)**	1	1	11.83	0,439	3,66	2,34	0,35
2	341+100	**16,22**	**Dalot (2.50x2)**	1,5	1	20,33	0,576	3,40	2,17	0,32
3	341+726	**2,85**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35
4	341+813	**3,59**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35
5	342+700	**6,07**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35
6	342+910	**2,04**	**Buse Ø1000**	0,75	1	2,49	0,456	3,17	2,03	0.31
7	343+210	**1,79**	**Buse Ø1000**	0,75	1	2,49	0,456	3,17	2,03	0.31
8	343+725	**7,75**	**Dalot (2.00x1.50)**	1	1	8,82	0,474	3,88	2,47	0,37
9	344+120	**8,76**	**Dalot (2.50x1.50)**	1	1	11,83	0,439	3,66	2,34	0,35
10	344+154	**5,11**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35

11	344+865	**12,74**	**Dalot (2.50x2)**	1,5	1	20,33	0,576	3,40	2,17	0,32
12	345+985	**14,28**	**Dalot (2.50x2)**	1,5	1	20,33	0,576	3,40	2,17	0,32
13	346+325	**4,07**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35
14	346+980	**7,83**	**Dalot (2.00x1.50)**	1	1	8,82	0,474	3,88	2,47	0,37
15	347+550	**6,49**	**Buse Ø1500**	0,75	1	7,35	0,577	3,72	2,37	0,35
16	347+908	**85,41**	**OA**	0	0	0	0	0	0	0
17	348+300	**7,21**	**Dalot (2.00x1.50)**	1	1	8,82	0,474	3,88	2,47	0,37
18	348+920	**19,66**	**Dalot (3.00x2.50)**	2	1	37,9	0,655	3,28	2,09	0,31
19	350+328	**7,91**	**Dalot (2.00x1.50)**	1	1	8,82	0,474	3,88	2,47	0,37
20	350+830	**7,39**	**Dalot (2.00x1.50)**	1	1	8,82	0,474	3,88	2,47	0,37
21	352+168	**28,76**	**Dalot (3.00x2.50)**	2	1	37,9	0,655	3,28	2,09	0,31

VI.4.5 Ouvrages d'assainissement longitudinaux

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

On a également adopté, pour la conception générale du système de drainage longitudinal, les principes suivants :

- Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme.
- L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité, sans avoir recours à des stations de pompage qui impliqueraient des coûts d'investissement initial et d'entretien du système plus chers.
- Dans les zones de déblai de grande hauteur, en vertu de l'inclinaison du terrain adjacent, des fossés de crête permettant d'éviter l'érosion des talus et l'accès des eaux de surface à la plate-forme seront prévus.
- Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

-

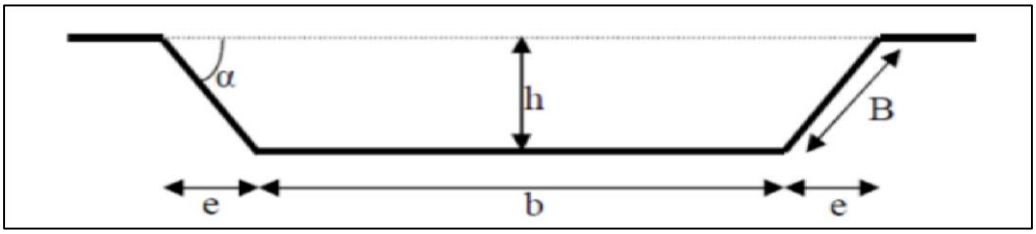


Figure VI.2 Un fossé de forme trapézoïdale

VI.4.5.1 Dimensionnement des fossés

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

$$Qs = Ks \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Où

- La surface mouillée : $Sm = (b + z \times h) \times h$
- Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h \times \sqrt{1 + z^2}$
- Le rayon hydraulique : $R_h = S_m/Pm$

Avec : I pente longitudinale de fossé et z la pente des berges.

❖ **Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement**

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 50 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- Pente.
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie.
- Forme de construction Profil trapézoïdal avec déclivité du talus 2:3.
- Les fossés sont divisés en 3 types selon de débit nécessaire.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus : Qa=Qpf+Qb+Qt.
- Le Calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante.

Pour notre projet on n'a pas de berme car la hauteur de déblai est de l'ordre de 3 mètre

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$QA = 0.278C \times I \times S$$

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

- **I**: Intensité de pluie (mm/h)
- **S**: Surface du bassin versant considérer: la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²)

Tableau VI.10 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai

		Cas remblais Longueur : 1322 m H_{talus} : 4,61 m	**Cas déblais** Longueur : 264,32 m H_{talus} = 2,82 m
Plateforme	**C**	0,7	0,7
	P (m/m)	0,04	0,04
	S (km2)	$0.0108 \times 1{,}322 = 0.0142776$	$0.0108 \times 0{,}26432 = 0{,}00285$
	Tc(h)	0,076	0,034
	I (mm/h)	228,01	400,39
	Q (m³/s).	0,634	0,22
Talus	**C**	0,7	0,7
	P (m/m)	0,67	0,67
	S(km2)	$0.00461 \times 1{,}322 = 0{,}0061$	$0{,}00282 \times 0{,}26432 = 0{,}00075$
	Tc(h)	0,012	0,004
	I (mm/h)	830,03	1790,94
	Q (m³/s).	0,985	0,26
QA(m^3/s).		0,634+0,985=1.619	0,22+0,26=0,48

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondant à la condition suivant :

Qa <Qs

Avec le calcul itératif on trouve les dimensions suivantes : h=0.5m, b=0.5m.

VI.5 CONCLUSION

Dans les projets linéaires tels que les voies ferrées, les études hydrologiques et hydrauliques sont indispensables et obligatoires, ce qui garantit la pérennité de la voie. Sur la base de nos études précédentes, nous déduisons son importance dans ce projet par le volume conséquent des travaux de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne.

- 01 viaduc.
- 06 passages supérieurs.
- 08 buses.
- 12 dalots.
- Un fossé de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.5m, pente=2/3) le long de la ligne.

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VII.1 GÉOLOGIE

VII.1.1 Introduction

L'étude géologique est nécessaire dans tout projet, elle nous permet de déterminer les caractéristiques géologiques (stratégiques, structurelles et hydrauliques) du site du projet et les facteurs de stabilité ou d'instabilité de la fondation géologique, et de trouver la relation entre les facteurs géologique, hydraulique et géotechnique et leurs répercussions sur l'ouvrage projeté. N'oubliez pas la distinction entre les sites des matériaux susceptible d'être réutilisés à ceux qui sont médiocre.

VII.1.2 La géologie générale

Les trois régions paléogéographiques du nord de l'Algérie sont représentées par
Couloir déprimé, bordés par des accidents tectoniques majeur qui a poussé vers le sud.
L'accident du sud de l'Atlas a séparé le domaine de la plate-forme saharienne du domaine de l'Atlas.
Au Nord entre l'Atlas saharien et le domaine tellien (pays des nappes) s'intercale le couloir sud-tellien dit usuellement les « Hauts Plateaux » bordés au Nord par le front de la première nappe méridionale du système tellien. Notre projet s'intègre dans la région des Hauts Plateaux, en bordure de l'Atlas Tellien. C'est une région qui présente différentes formes de relief, les altitudes varient généralement entre 800m et 1300m.
La zone des Hauts Plateaux est une dépression élancée, Approximativement orientée SW-NE dans laquelle s'est écoulé le matériel plastique de sédiments Crétacés et tertiaires. Cesderniers forment une couverture sédimentaire réduite réduit, qui les affleurements sont souvent masqués par des sédiments quaternaires.

VII.1.3 Contexte géologique du projet

À l'aide de cartes géologiques l'échelle 1/50 000 et différents visites de terrain a permet de mettre en évidence les conditions géologiques de l'emprise projet.
La géologie régionale présente les caractéristiques stratigraphiques suivantes :
.

- **Formations alluviales actuelles et récentes du plateau :** cailloux roulés, graviers et limons sur les plaines, matériel limoneux ou marneux emporté sur de grandes surfaces.

- **Marnes** plus au moins séléniteuses à intercalations de bancs de calcaires, de grés et conglomérats.

Il est constitué de marnes argileuses plus ou moins grises à noires avec des intercalations de quelques bancs de marno-calcaires.

La topographie du site est composée des terrains sédimentaire quaternaire et
Miocène continental.

Les formations traversées sont composées de sédiments lacustres composés de limon, argiles limoneuses jaunâtres sablo graveleuses et des argiles tufacées sablo graveleuses.

Prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet d'étude, une analyse des paramètres physico –mécaniques s'avère est essentielle.

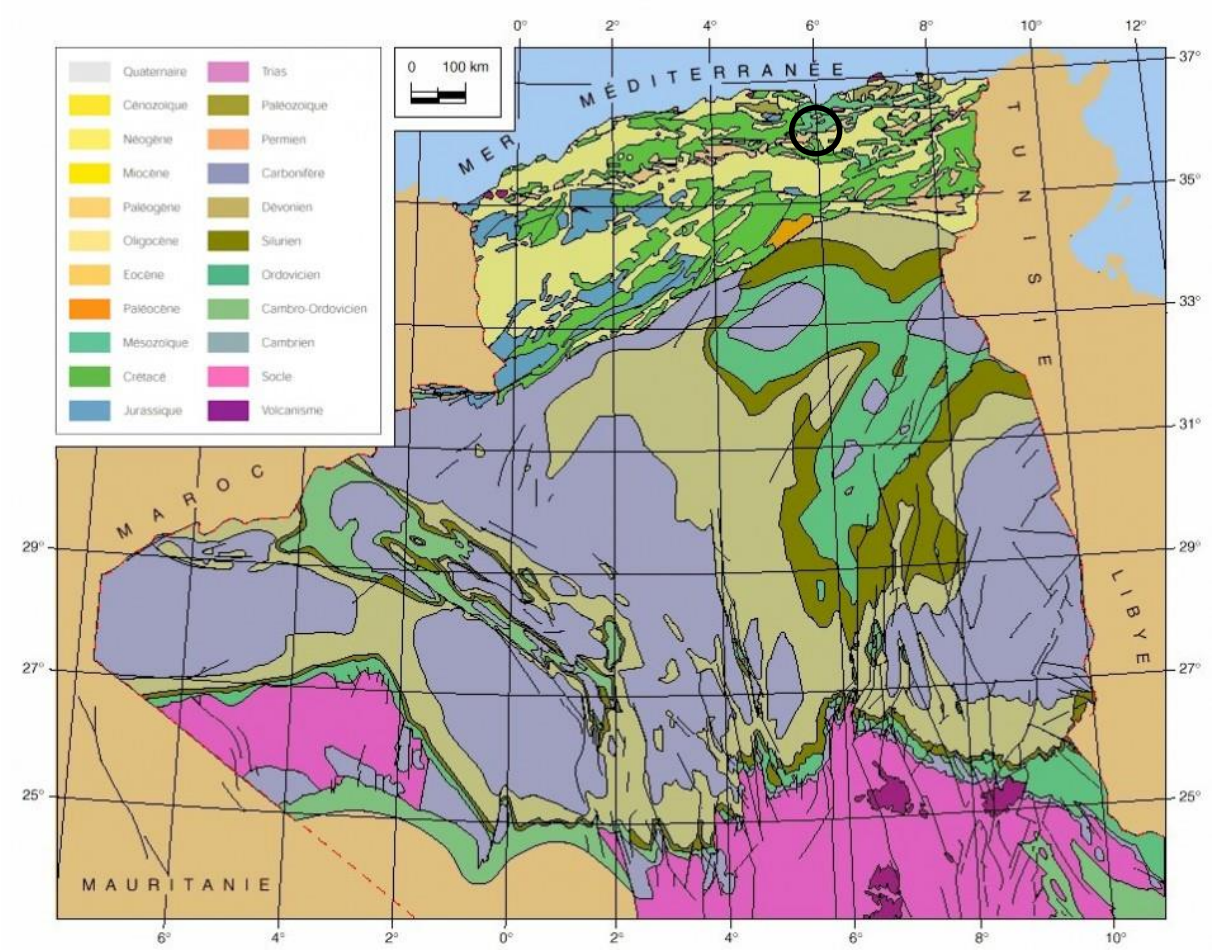


Figure VII.1 Situation de la zone d'étude

VII.2 GÉOTECHNIQUE

VII.2.1 Introduction

Afin de prévoir le comportement du sol, et la stabilité de la structure pendant la phase d'exécution et détecter les zones d'emprunt de matériaux de construction.
Pour le corps principal de remblai et de chaussée, une étude géotechnique est essentielle
Elle est considérée comme faisant partie inséparable des études géologique et hydrologique pour l'identification du sol.

VII.2.2 Objectifs d'une étude géotechnique

Les objectifs d'une étude géotechnique se résument en :

- Le bénéfice apporté sur les travaux de terrassement.
- La sécurité en indiquant la stabilité des talus et des remblais.
- L'identification des sources d'emprunt des matériaux et la capacité de leurs gisements.
- La Préservation de l'environnement ainsi que les ressources naturelles.

VII.2.3 Reconnaissance géotechnique

Ce sont des reconnaissances qui permettent de définir l'ensemble des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains en place.
Leur but est de fournir les éléments nécessaires pour les études et les travaux de terrassement et de fondation.
L'ensemble des travaux réalisés et les résultats obtenus de la campagne géotechnique ont été synthétisés et exposés de telle manière à déterminé :

- La nature et les propriétés des sols en place avec la classification des matériaux.
- Le dimensionnement de la structure de plateforme ferroviaire.
- L'identification et la localisation des problèmes et/ou des contraintes techniques du point de vue géologique rencontrés le long du tracé.
- La définition des zones d'emprunt, ainsi que les carrières pour granulats et ballast.
- Les propositions relatives aux modes de fondations des différents ouvrages à construire.

.

VII.2.4 Essais in situ

La campagne géotechnique sur le terrain a été menée sur la base d'un programme de reconnaissance établi en fonction de la situation des ouvrages d'arts (ponts, viaducs, tunnels), ouvrages en terre et de terrassements envisagés le long du tracé.
Programme d'investigation géotechnique (PIG), Il comprend :

- 9 puits de reconnaissance réalisés (profondeur 4 m) le long du tracé et ce à différentes profondeurs ainsi qu'à différentes distance de l'axe.

VII.2.4.1 Interprétation des essais in situ

Les coupes de reconnaissance montrent que le sous-sol du site est constitué par :

- **Puits de reconnaissance** :

.

TableauVII.1 La lithologie des puits de reconnaissance

Puits n°	PK	Lithologie
1	341+000	0.00m à 1.90m : Argiles marron graveleuses lâches. 1.90m à 3.80m : Argiles tufacées rougeâtres compactes.
2	342+500	0.00m à 1.70m : Argiles marron noirâtres graveleuses lâches. 1.70m à 3.90m : Tufs argileux rougeâtres sableux lâches à compactes en profondeur.
3	344+000	0.00m à 1.00m : Argiles marron noirâtres lâches. 1.00m à 2.90m : Tufs argileux sablo - graveleux lâches très humides. 2.90m à 3.90m : Argiles tufacées rougeâtres compactes.
4	345+500	0.00m à 1.40m : Argiles marron noirâtres lâches.

		1.40m à 3.80m : Tufs argileux rougeâtres sableux lâches à très lâches très humides.
5	347+000	0.00m à 2.00m : Argiles sablo graveleuses à marneuses jaunâtres très lâches. 2.00m à 3.60m : Tufs argileux jaunâtres sableuses.
6	348+500	0.00m à 2.10m : Argiles noirâtres. 2.10m à 3.50m : Tufs argileux rouges blanchâtres compactes.
7	350+000	0.00m à 0.50m : Terre végétale. 0.50m 1.40m : Argiles graveleuses marneuses. 1.40m 3.20m : Tufs argileux rougeâtres crayeux.
8	351+500	0.00m à 1.30m : Argiles tufacées rougeâtres lâches. 1.30m à 3.60m : Tufs argileux rougeâtres crayeux.
9	352+500	0.00m à 1.70m : Argiles noirâtres lâches. 1.70m à 3.50m : Tufs argileux rougeâtres crayeux.

VII.2.4.2 Interprétation des résultats

Les profils lithologiques établis à partir des coupes de carottage permettent de distinguer les formations suivantes :

- **Argiles marrons à noirâtres graveleuses :** ce sont des argiles marrons lâches parfois noirâtres, graveleuses avec des niveaux sableux, présentant des débris de coquilles.
- **Argiles marneuses graveleuses :** ce sont des argiles marneuses jaunes sablo graveleuses.
- **Tufs argileux lâches avec passages sablo graveleux :** Ce sont des tufs blancs associés à des argiles rouges graveleuses.

VII.2.5 Essais de laboratoire

Tous les échantillons prélevés à partir des puis de reconnaissance réalisés ont fait l'objet des analyses en laboratoire conformément aux normes en vigueur.
Le programme d'essai en laboratoire a consisté à l'exécution des essais suivants :

❖ **Essais physiques**

- **Analyses granulométriques**

L'analyse granulométrique permet de détecter les pourcentages des différentes familles de grains constituant l'échantillon, Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 μm et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.

- **Mesure de la teneur en eau naturelle**

Le teneur en eau représente la quantité d'eau contenu dans un échantillon de sol.

- **Détermination des limites d'Atterberg**

Les limites d'Atterberg permettent de détecter les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états (limite de liquidité, limite de plasticité).

- **Analyse chimiques**

L'objectif de ces essais consiste à identifier la présence des éléments actifs dans les sols.

❖ **Essais mécanique**

- **Essais Proctor**

L'essai Proctor modifié est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche optimale d'un sol par compactage.

- **Essais CBR**

Est un essai de portance qui donne l'aptitude des matériaux a supporter les charge des remblais et des couche de forme, il permet d'évaluer la traficabilité des engins des terrassements.

VII.2.5.1 Interprétation des essais en laboratoire

❖ **Argiles marrons à noirâtres graveleuses**

- L'analyse granulométrique a indiqué que le sol était fin puisque plus de 50 % des éléments passaient à travers le tamis de 80 µ.
- La formation a une des teneurs en eau naturelles faibles et des densités sèches faibles.
- L'indice de plasticité mesuré est d'environ 33 %, correspondant à une limite de liquidité de 54 %.
- La limite d'Atterberg permet de classer ce sol comme une argile très plastique.
- Le sol présente une valeur moyenne de densité Proctor modifiée.
- Ce sol a une faible valeur d'indice CBR avec une compacité de 95%. L'indice est 5.

Le sol est classé selon la norme (NFP 11-300), qui est un sol fins de classe A3 (argile très plastique) et en classe de portance **QS1** selon la classification (UIC).

❖ **Argiles marneuses jaunâtres sablo graveleuses**

- L'analyse granulométrique a indiqué que le sol était fin puisque plus de 50 % des éléments passaient à travers le tamis de 80 µ.
- La formation a une des teneurs en eau naturelles faibles à moyennes et des densités sèches moyennes.
- L'indice de plasticité mesuré est d'environ 24 %, correspondant à une limite de liquidité de 47 %.
- La limite d'Atterberg permet de classer ce sol comme une argile moyennement plastique à très plastiques.
- Le sol présente une valeur moyenne de densité Proctor modifiée.
- Ce sol a une faible valeur d'indice CBR avec une compacité de 95%. L'indice est 8.

- Les essais œdométriques ont donné des valeurs de :

- Cc = 0.149 moyennement compressibles.
- Cg = 0.029 sols non gonflants.

- Les analyses chimiques montrent que ces sols présentent un taux de carbonates 27 %.

Le sol est classé selon la norme (NFP 11-300), qui est un sol de classe A2 a A3 et en classe de portance **QS1** selon la classification (UIC).

❖ **Tufs argileux rougeâtres sablo graveleux**

- L'analyse granulométrique a indiqué que le sol était fin puisque plus de 50 % des éléments passaient à travers le tamis de 80 µ.
- La formation a une des teneurs en eau naturelles faibles à moyennes et des densités sèches moyennes.
- L'indice de plasticité mesuré est d'environ 22 %, correspondant à une limite de liquidité de 46%.
- La limite d'Atterberg permet de classer ce sol comme une argile moyennement plastique.
- Le sol présente une valeur moyenne de densité Proctor modifiée.
- Ce sol a une faible valeur d'indice CBR avec une compacité de 95%. L'indice est 7 à 10.
- Les essais œdométriques ont donné des valeurs de :

- Cc = 0.137 moyennement compressibles.
- Cg = 0.032 sols non gonflants.

- Les analyses chimiques montrent que ces sols présentent un taux de carbonates 29 %.

Le sol est classé selon la norme (NFP 11-300), qui est un sol de classe **A2** et en classe de portance **QS1** selon la classification (UIC).

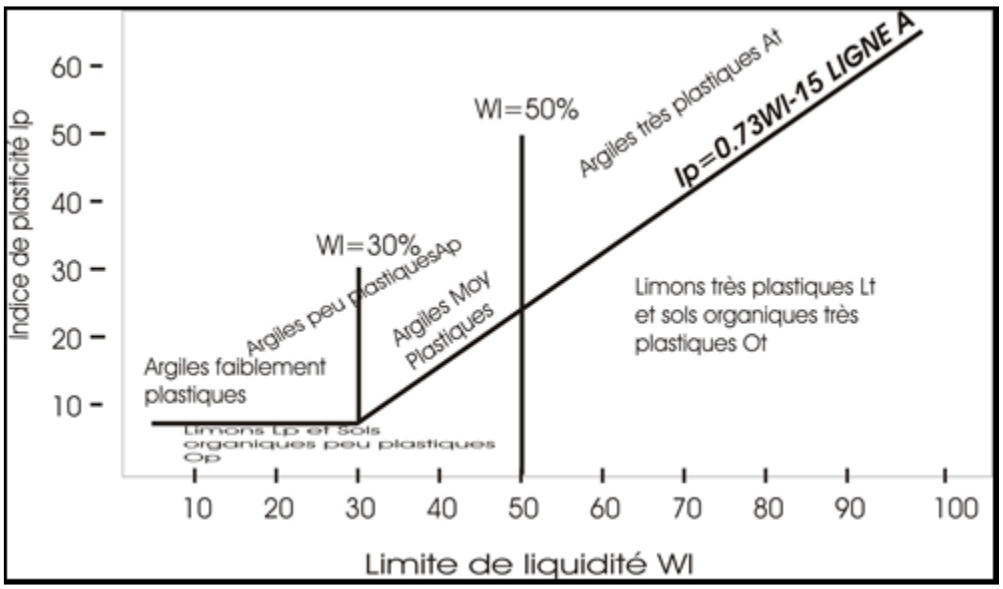


Figure VII.2 Limites d'Atterberg

VII.2.5.2 Interprétation des résultats

- L'analyse des résultats obtenus nous a permis d'effectuer la même classification selon la norme (NFP 11-300), il s'agit de la classe A comme premier critère de classification qui regroupe toutes les catégories de sols fins avec pour principales caractéristiques un D max. (Plus grand diamètre) inférieur à 50mm et un taux de fines supérieur à 80µ dépassant les 35%.
- Un second critère de classification qui tient compte à la fois de la granulométrie et de la plasticité ou argilo site.

Cela indique que les matériaux ont la même plasticité, avec des valeurs d'indice de plasticité comprises entre 22% et 33% pour tous les matériaux.

- Les valeurs de portance CBR obtenues à 95% de l'optimum Proctor modifié font ressortir des valeurs fluctuantes on relèvera deux niveaux de valeurs.

- **Niveau de portance 1 :** avec une valeur d'indice portant Ip = 5 donc il est compris entre 5 et 10.

- **Niveau de portance 2 :** avec une valeur d'indice portant Ip = 8 donc il est compris entre 5 et 10.

Le premier niveau est le sol de classe A sous classe A3. Ces sols constituent un matériau sensible à l'eau et très plastique, qui pour être réutilisé, nécessite d'être traité en association avec de la chaux et un liant hydraulique selon le GTR, dans notre cas ils seront classés en (PST 0) partie supérieure des terrassements niveau 0, soit donc en arase terrassements AR0 qui inévitablement nécessitera, selon la géométrie du profil (déblai/remblai), soit de substituer le matériau, et réaliser une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau avec un drainage efficace en fond de couche, ce qui nous donne accès au niveau PST3 , la plate-forme est donc classée PF3.
Le deuxième niveau de capacité portante obtenu caractérise les sols de classe A2 qui, compte tenu de la fraction argileuse qu'ils comportent rendent ces sols très sensibles et nécessitent également la réalisation d'une couche de forme granulaire insensible à l'eau avec un drainage efficace en fond de couche. Cela nous mettra en PF3.

Les résultats de portance obtenue nous imposent la réalisation d'une couche de forme qui devra assurer une portance suffisante.

CHAPITRE VIII: ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1 INTRODUCTION

Grâce à des essais en laboratoire et sur le terrain de plus en plus perfectionnés, la mécanique des sols nous fournit les données nécessaires pour dimensionner la structure d'assise et assurer leur stabilité en fonction du sol dans lequel ils doivent reposer.

Techniquement, les rails en acier sont utilisés pour les rails en acier, mais il y a des problèmes avec ce matériau, il s'étire et se rétracte facilement sous l'influence des changements de température, les ingénieurs ont donc développé un moyen de réguler ce phénomène en créant le ballaste.

VIII.2 LE BALLAST

Techniquement, les rails en acier sont utilisés pour les rails en acier, mais il y a des problèmes avec ce matériau, il s'étire et se rétracte facilement sous l'influence des changements de température, les ingénieurs ont donc développé un moyen de réguler ce phénomène en créant le ballaste.

- **Définition :** Le ballast représente les cailloux placé entre les traverses servent à stabiliser la voie ferrée ils forment une couche épaisse qui repend aux exigences suivants :

  - Facilite le drainage et empêche la voie d'être inondés.
  - Absorbe les vibrations.
  - Maintient la dilatation thermique à un niveau minimum.
  - Empêche les plantes de pousser par-dessous.
  - Transférer la force générée par le passage du train au sol sans que le sol ne soit déformé par affaissement.
  - Minimiser la dilatation thermique.

VIII.2.1 Caractéristique de ballast

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

VIII.3 SOUS COUCHE

La sous-couche permet la transition entre la couche de ballast et la plate-forme, et La sous-couche peut être monocouche ou multicouche.
Il comprend une couche de sous-ballast propre et bien graduée de haut en bas. (0/31.5) Puis une couche de fondation au cas où le sol n'est pas bon, et enfin, si nécessaire, une couche anti-pollution complétée par des feuilles de géotextile.

VIII.3.1 Rôle de la sous couche

La sous couche assure plusieurs fonction comme :

- Assure un rôle de séparateur contre la contamination du ballast par les matériaux de la plateforme.
- Protection contre l'érosion et le gel.
- Évacuation des eaux de pluie.

La sous-couche a une pente transversalement latérale (4% de chaque côté) sur le toit vers le système de drainage longitudinal.

VIII.4 LA PLATE-FORME

La Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche la plateforme est constituée e terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

Afin d'évaluer la qualité de la plateforme, il est nécessaire de :

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

VIII.4.1 Classification des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :

- Propriétés géotechniques du sol ; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; ces conditions sont considérées comme bonnes si :

    - La couche supérieure du sol considérée est en dehors de toute nappe phréatique naturelle.
    - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales.
    - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plat forme et les dispositifs longitudinaux au transversaux d'assainissement sont en bon fonctionnement.

Tableau VIII.1 Classe de qualité des sols

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
QS0	Le sol impropres pour la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessite certaines mesures de confort (remplacement de matériau d'une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement des pieux, etc.).
QS1	Un sol médiocre acceptable, il faut toujours privilégier un bon drainage. Ces sols peuvent être transformés en sols de meilleure qualité avec un traitement adapté (traitement aux liants).
QS2	Sols moyens.
QS3	Bons sols.

VIII.4.2 Les classe de la portance de la plate-forme

La portance d'une plate-forme dépend:

- La qualité du sol qui compose le corps du remblai ou la qualité du sol en fond de déblai.
- De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

Selon les paramètres ci-dessus, nous pouvons distinguer les trois types suivants de capacité portante de la plate-forme:

- **P3**: Bonne Plate-forme.
- **P2**: Plate-forme moyenne.
- **P1**: Mauvaise Plate-forme.

Tableau VIII.2 la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance	
		Qualité	Épaisseurs min e_f (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	/

❖ **Couche de forme :**

La couche de forme est constituée d'un matériau noble de qualité supérieure
Si on envisage une classe de plate-forme moyenne, c'est-à-dire de classe P2, on aura :

- Sur les matériaux QS1, une couche de forme dont la qualité de sol est QS2 et cela sur une épaisseur de 50cm.
- Sur les matériaux QS1, une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 40cm.
- Sur les matériaux QS2, pas de couche de forme.

VIII.5 CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE

Ces épaisseurs minimales calculées sont valables pour un espacement de traverses de 0.6 m et de la charge maximale d'essieu de 25 t (**UIC 719R p57**) :

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

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

- « E » des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- « a » de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714).
- « b » de la type de traverses.
- « c » des conditions de travail.
- « d » de la charge maximale d'essieu des véhicules.
- « f » de la vitesse.
- « g » de installation de géotextiles.

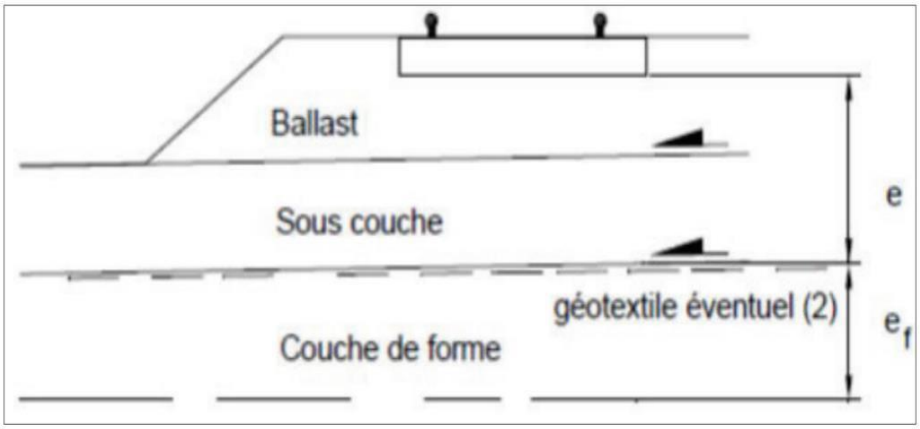


Figure VIII.1 Les épaisseurs des couches d'assise

Tableau VIII.3 Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R)

Paramètres de dimensionnement	Epaisseur	Conditions
E	**E=0.70 m**	pour les plateformes de classe de portance P1.
	E=0.55 m	pour les plateformes de classe de portance P2.
	E=0.45 m	pour les plateformes de classe de portance P3.
a	**a = 0 m**	pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	a = -0.05 m	pour les lignes de groups UIC (3,4).
	a = -0.10 m	pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	a = -0.15 m	pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	**b= 0 m**	pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m

	b= (2.50-L)/2 m	pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
c	**c= 0 m** **c= -0.1 m**	pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne). à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ‘’7, 8 et 9 sans voyageurs’’
d	**d= 0 m** **d= 0.05 m** **d= 0.12 m**	lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieure ou égale à 20 tonne/essieu. lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu. lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	**f= 0 m** **f= 0.05 m** **f= 0,10 m**	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse. pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a grande vitesse.
g	**g= +ep** **g= 0 m**	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. (pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VIII.6 APPLICATION AU PROJET

Détermination de l’épaisseur des couches :

- Notre sol est de classe QS1et une plate-forme de classe P2 donc **E=0.55m.**
- La ligne étudiée est de groupe UIC54 : ⇒ $\boldsymbol{a}$ = **-0.10 m**
- Travers bi-bloc (mixte) pour rail UIC54 (pleines voie et voie de gare) type SL, L=2.24m. ⇒ **b=0,13m**
- Charge par essieu =225KN ⇒**d=0,05m**
- Pour un dimensionnement normal : $\boldsymbol{c}$ **= 0 m**
- La ligne parcourue à une vitesse≤ 160 km/h ⇒ **f= 0 m**
- **g=** 0.02 , couche de forme sol QS2.

  e = 0.55 − 0.10 + 0.13 + 0.05 + 0 + 0 + 0.02 = **0.65 cm**

  e = épaisseur de ballast + épaisseur de sous couche = **65 cm**

Pour la couche de ballast on a :

- 35 cm pour une vitesse >200km /h.
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120km/h et 200km/h.
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80km/h et 120km/h.
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60km/h et 80km/h.

Le sol support rencontré tout au long du tracé du projet d’étude, est un sol de classe **QS1**, On a adopté une plate-forme de type **P2** avec toutefois un corps de plate-forme plus

Conséquent constitué des couches suivantes, à savoir de haut en bas :

- Couche de ballast →**30 cm.**
- Couche de sous ballast → **35 cm.**
- Couche de forme → **50 cm.**

VIII.7 CONCLUSION

Le dimensionnement permet de mettre en évidence l'épaisseur des différentes couches qui doivent être présentes pour supporter et diffuser les charges transmises par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algérie.

CHAPITRE IX : PROFILE EN TRAVERS

IX.1 INTRODUCTION

Une fois le tracé en plan et le profil en long sont établis, la structure d'assise et le réseau d'assainissement sont dimensionnés. Nous continuons avec le développement de profil en travers, qui est une étape très importante dans le projet. Il détermine des sections types de couloirs et des volumes pour les déblais et remblais.

IX.2 TYPE DE PROFIL EN TRAVERS

On distingue deux types de profil :

- **Profil en travers type**

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc.…).

- **Profil en travers courant**

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

IX.2.1 Les éléments du profil en travers

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

IX.2.1.1 Eléments de l'infrastructure

- Les épaisseurs et la nomination des chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

IX.2.1.2 Eléments de superstructure

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.

. IX.2.1.3 Eléments du talus

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation Eventuels.

IX.2.1.4 Eléments d'assainissement

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

IX.3 LES PROFILS EN TRAVERS TYPE ADOPTES POUR NOTRE TRACES

On a adopté trois différents profils en travers type pour notre tracé

IX.3.1 Voie double

Les caractéristiques géométriques de la section type à adopter pour les voies double prennent en compte les gabarits nécessaires pour la future électrification :

- Écartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur de la plateforme : 10,80 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de la plateforme : 4%.
- Epaisseur de ballast : 30 cm.
- Epaisseur de sous-ballast : 35 cm.
- Epaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m.

IX.3.2 Viaduc

Les caractéristiques pour le profil en travers type de la voie double sont les suivantes :

- Ecartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur du tablier : 10,80 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de tablier : 1.5%.
- Epaisseur de ballast : 35 cm.
- Distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m.

IX.3.3 Gare El Eulma

Les caractéristiques géométriques de la gare et d'el Eulma sont les suivantes :

- Type de ligne : Voie double.
- Ecartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Pente latérale de la plateforme : 4%.
- Epaisseur de ballast : 30 cm.
- Epaisseur de sous-ballast : 35 cm.
- Epaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Distance axe de voie – bord de quai : 1,65 m.

IX.4 CALCUL DES CUBATURES

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

Les éléments qui permettent cette évolution sont :
- Les profils en long.
- Les profils en travers.
- Les distances entre les profils.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2019, les détails de calcul sont joints dans l'annexe.

Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique :

Tableau IX .1 Les cubatures de terrassement

Volume déblais (m^3)	**Volume remblais (m^3)**
314267	36543

CHAPITRE X : LES OUVRAGES D'ART

X.1 INTRODUCTION

Afin de concevoir un meilleur tracé répondant aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne de chemin de fer projetée et l'intersection des différentes infrastructures et les cours d'eau existantes, on doit doter ce dédoublement de la ligne des ouvrages d'art suivants :

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

X.2 INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE

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

- Données naturelles : écoulement des eaux, nature de sol, etc.
- Exigences techniques : portée, programme de charge, gabarit, etc.

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- La voie portée, ou l'obstacle franchi.
- Programme de charge.
- Gabarit.
- Adaptation architecturale à la région.
- Sujétion à respecter pendant la construction.

X.3 CROISEMENT AVEC UNE ROUTE

De manière générale, le problème de croisement doit tenir compte de la nature et du débit de chaque voie d'intersection afin d'analyser un à un tous les types de croisements en fonction de la vitesse maximale de base.

Il y a trois solutions possibles :

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

Concernant notre projet, la vitesse du train est de 160 km/h, nous utilisons donc les Passage supérieur.

X.4 DÉFIINITION ET CATÉGORIES DES PONTS

De manière générale, les ponts sont des structures en élévation construites in situ qui permettent aux voies d'accès de franchir des obstacles naturels ou artificiels : rivières, vallées, routes, voies ferrées, canaux, etc.

La voie portée peut être :

- ferroviaire (pont-rail).
- Une voie routière (pont-route).
- Piétonne (passerelle).

X.5 LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET

Liste des ouvrages d'art pour mon projet

Tableau X.1 Liste des ouvrages d'art pour mon projet

Type de passage	Localisation
Passage superieur	339+396
Passage superieur	340+140
Dalot	340+380
Dalot	341+100
Buse	341+726
Buse	341+813
Buse	342+700
Buse	342+910
Buse	343+210
Dalot	343+725
Dalot	344+120
Buse	344+154
Dalot	344+865
Dalot	345+985
Buse	346+325
Dalot	346+980
Buse	347+550
Pont rail	347+908
Passage superieur	347+978
Dalot	348+300
Passage superieur	348+761
Dalot	348+920
Dalot	350+328
Passage superieur	350+393
Dalot	350+830
Passage superieur	351+818
Dalot	352+168

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE EL EULMA

XI.1 INTRODUCTION

Une gare est l'endroit où le train s'arrête. La gare comprend diverses installations à double fonction : permettre aux passagers de monter et descendre, ou de charger et décharger des marchandises.

On distingue quatre types de gares :

- **Gare de voyageur**

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.

- **Gare marchandise**

Les gares de marchandise sont situées dans d'importants sites industriels, agricoles et commerciaux, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries et des grands laboratoires.
Les gares de marchandise sont responsables de toutes les installations de chargement, de déchargement et de stockage des marchandises. Délivrés et reçus par eux.

- **Gare mixte**

Ces gares seront implantées dans les villes industrielles, agricoles et commerciales, et elles seront chargées d'accueillir les voyageurs et diverses installations de chargement, déchargement et stockage des marchandises livrées par la gare.

- **Gare de croisement**

C'est l'une des plus petites gares, celles-ci sont généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer en toute sécurité le travail de réception des trains des deux côtés de la gare après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

XI.2 AMÉNAGEMENT DE LA GARE

XI.2.1 Installations d'une gare voyageurs

- **Le bâtiment de voyageurs (B.V)**

C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)**

Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des coulis, bureaux….

- **Quais**

C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.

- **Abris de quais**

C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.

- **Les passages sous terrain et les passerelles**

Ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

XI.2.2 Marge de glissement à l'aval des signaux

Il s'agit du tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, à l'intérieur duquel aucun autre train n'est autorisé à circuler et, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

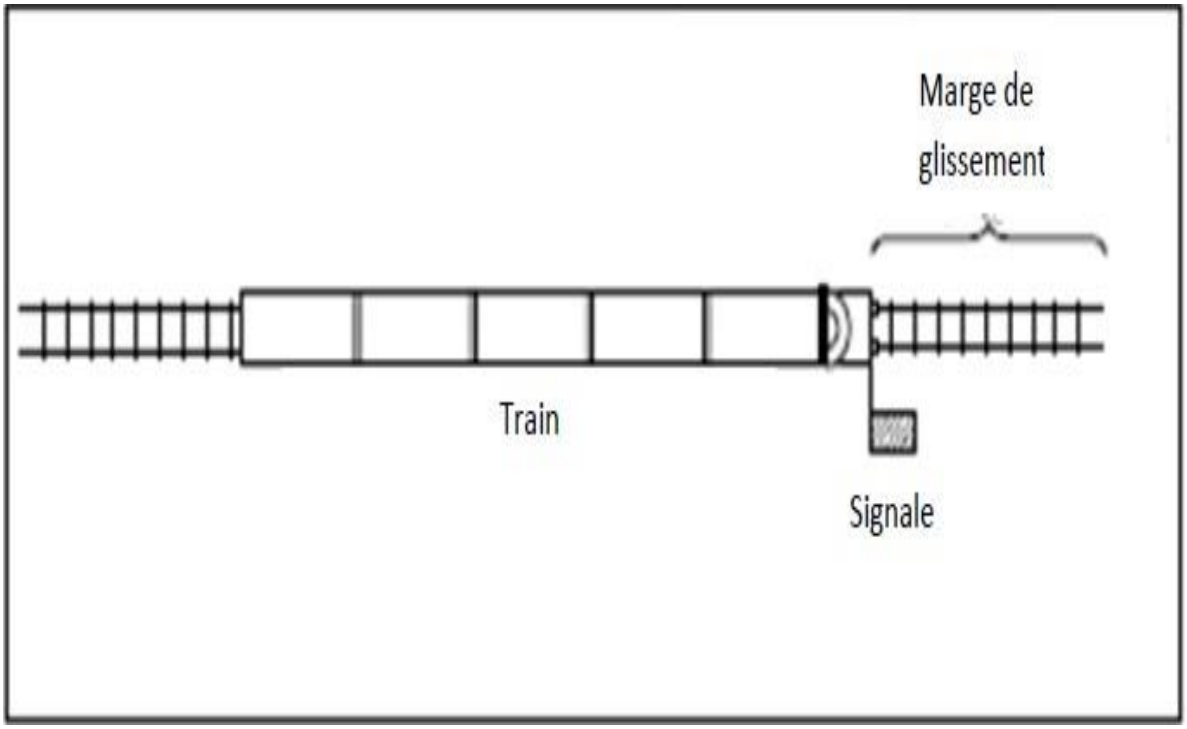


Figure XI.1 Schématisation de la marge de glissement

- **But de la marge de glissement**

Son but est de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsque le train ne peut s'arrêter avant cette marge faute de freinage ou de glissement des rails.

- **Longueurs de la marge de glissement**

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

- **LG** = 200m pour V ≥ 60 km/h
- **LG** = 100m pour 40km/h ≤ V ≤ 60 km/h
- **LG** = 50 m pour V < 40 km/h.

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

XI.2.3 Garage franc

Le garage franc (GF) marque la limite de la partie de la voie à occuper par les véhicules garés.

La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement).
En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique **:**

$$GF = 3.57*\tan(\alpha) + 1.0$$

Tan(α) : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

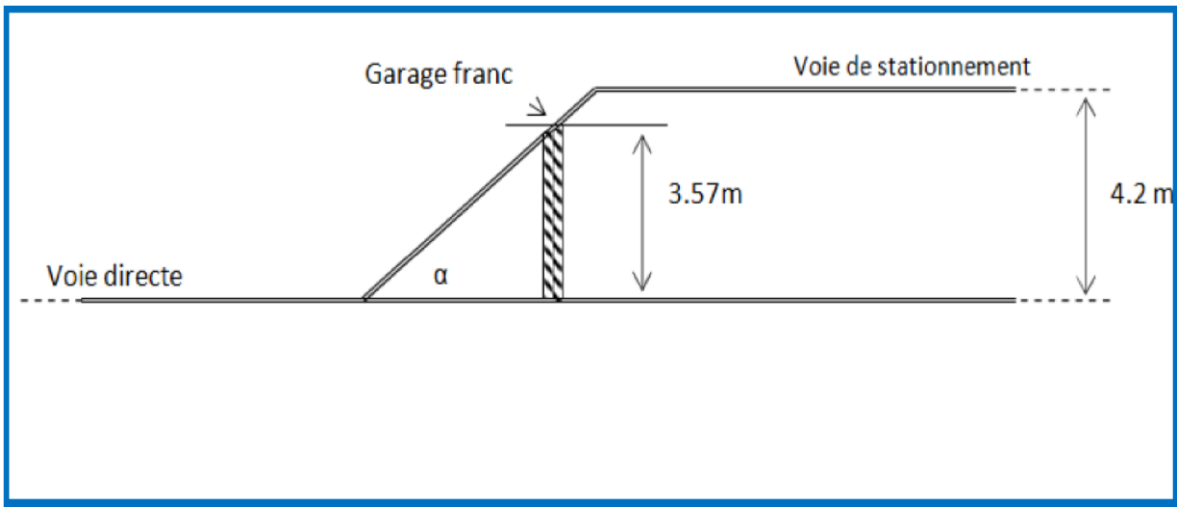


Figure XI.2 Schéma illustratif de garage franc

XI.2.4 Heurtoir

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



Figure XI.3 Un heurtoir

XI.2.5 L'emplacement de la gare

La gare mixte de El Eulma se situe du PK 338+722 au PK 340+850.

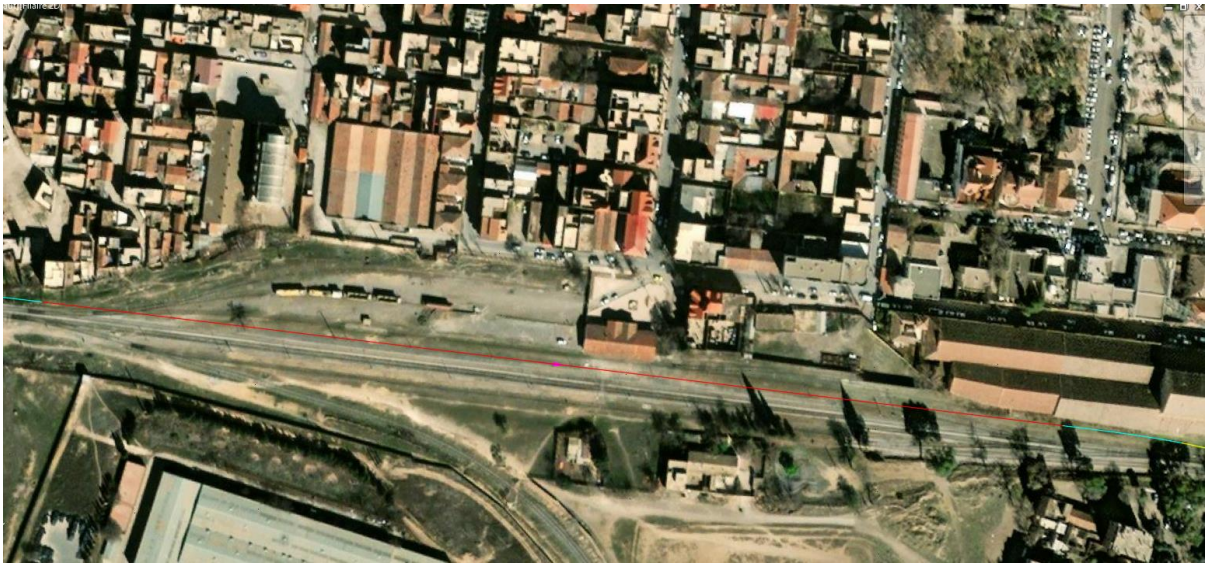


Figure XI.4 Emplacement actuel et futur de la Gare d'EL EULMA

XI.3 CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES GARES

XI.3.1 La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire pour permettre au train de s'arrêter sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de

dépassement voisines. La longueur utile représente donc la distance entre deux garages francs.

XI.3.2 Déclivité dans les gares

A la gare, la déclivité sera limitée en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de 0‰ pour éviter tout mouvement de train possible.

XI.3.3 Quai

❖ **La longueur de quai (normes SNTF)**

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m.
- Banlieue 225 m.

❖ **La largeur de quai (normes SNTF)**

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

❖ **Hauteur des quais**

La hauteur du bord de quai doit être de 350, 550 ou 760 mm au-dessus de la surface de roulement, selon le type de matériel roulant pouvant stationner sur le quai.

❖ **La distance à l'axe de la voie**

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

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

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S\ (mm)= (3750/R) + ((I-1435)/2)$$

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

❖ **L'entre axe des quais**

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

XI.3.4 Les appareils de voie

Les conditions d'installation selon SNTF sont les suivantes :

❖ **Règles d'implantation**

- **En tracé en plan**

L'implantation des appareils de voie s'effectuera conformément aux longueurs minimales du tracé retenues ci-dessous :

- **En pointe**

La longueur minimale d'alignement (L1) devra être égale à Vd/2, Vd étant la vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée.

- **En talon de la branche déviée**

1. **Si la sortie d'appareil est en alignement**

La longueur minimale d'alignement à respecter devra être égale à Vd/2.

2. **Si la sortie d'appareil est en courbe**

- **Vd < 100 :** il conviendra de réserver un alignement de longueur minimale égale à Vd /2 ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif.
- **100 ≤ Vd < 160 :** il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens et ce pour toute situation nouvelle.
- **Vd ≥ 160 :** la condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit Vd, la longueur des raccordements sera calculée afin d'obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers $\Delta I/\Delta t$ de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

3. **En talon de la voie directe**

Longueur minimale d'alignement L2, à réserver, doit être supérieure à 50m.

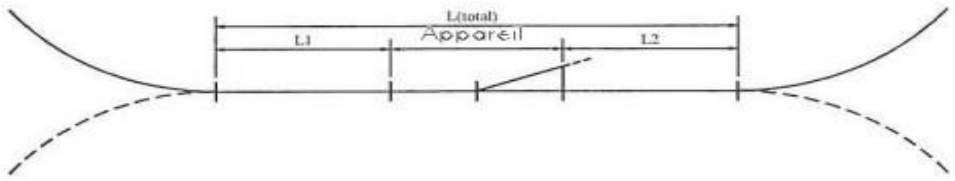


Figure XI.5 schéma illustratif

Tableau XI.1 Les branchements

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

XI.4 APPLICATION AU PROJET

- **Longueurs de la marge de glissement**
  V ≥ 60 km/h donc LG = 200m.

- **La longueur du quai**

Pour notre gare on prend 250 m comme longueur des quais

- **Largeur des quais**

On prend B= 8 m

- **Hauteur des quais**

  On prend pour notre cas h= 55 cm.

- **Entre-axe des quais**

  On prend : e= 13.5m (entre quai A et B).

- **Distance par rapport à l'axe de la voie**

L (mm)=1650+ (3750/∞) + ((1435-1435)/2)=1650mm.

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

- La longueur utile V1 : 1726.43 m
- La longueur utile V2 : 1726.43 m

- La longueur utile V3 : 421.9 m
- La longueur utile V4 : 413 m
- La longueur utile V3-H1 : 62 m
- La longueur utile V3-H2 : 32.62 m

- **Appareils de voie**

- Appareil de voie branchement type UIC 54, R190-1/9 tg (0,111).
- Appareil de voie branchement type UIC 54, R500-1/12 (0,083).
- Appareil de voie branchement type UIC 54, R300-1/9 tg (0,111).

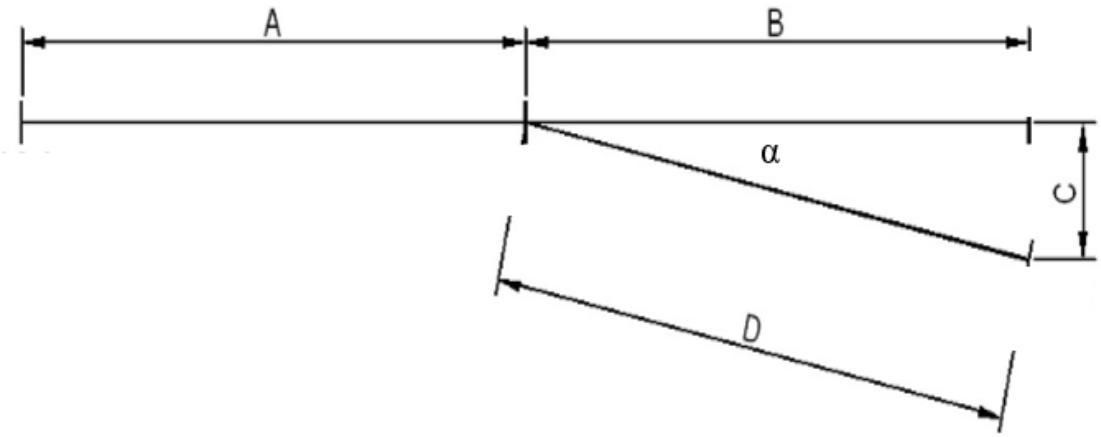


Figure XI.6 Schéma de l'appareil de voie

Tableau XI.2 Paramètres de l'appareil de voie

Type	A	B	C	D	tan α
UIC 54, R500-1/12	20.797	20.797	1.729	20.797	0.0833
UIC 54, R190- 1/9	10.523	16.616	1.838	16.616	0.111
UIC 54, R300- 1/9	16.616	16.616	1.835	16.616	0,111

Tableau XI.3 Caractéristiques des appareils de voies

Nº	Ligne	PK	Type de branchement	Direction
1	**V1**	PK 338+722.11	UIC 54, R500-1/12	Droite
2	**V2**	PK 338+814.31	UIC 54, R500-1/12	Droite
3	**V2**	PK 338+824.11	UIC 54, R500-1/12	Gauche
4	**V1**	PK 338+916.34	UIC 54, R500-1/12	Gauche
5	**V2**	PK 339+567.88	UIC 54, R300-1/9	Droite
6	**V1**	PK 339+559.40	UIC 54, R300-1/9	Gauche
7	**V3**	PK 339+671.81	UIC 54, R190-1/9	Gauche
8	**V3**	PK 339+979.81	UIC 54, R190-1/9	Droite
9	**V1**	PK 340+090.54	UIC 54, R300-1/9	Gauche
10	**V2**	PK 340+090.12	UIC 54, R300-1/9	Gauche
11	**V2**	PK 340+615.56	UIC 54, R500-1/12	Gauche
12	**V1**	PK 340+707.57	UIC 54, R500-1/12	Gauche
13	**V1**	PK 340+717.4	UIC 54, R500-1/12	Droite
14	**V2**	PK 340+810.00	UIC 54, R500-1/12	Droite

- **Longueur de garage de franc**

- Pour l'appareil de voie type R500- 1 /12 : lg= 44m
- Pour l'appareil de voie type R190- 1/9 tg : lg= 34m
- Pour l'appareil de voie type R300- 1/9 tg : lg= 38m

- **La passerelle**

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai.
Pour notre gare, un passage souterrain est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et les bâtiments des voyageurs dont les dimensions sont : La largeur doit être : $B \geq 2.4$ m, donc on prend : B= 3 m La hauteur doit être : $H \geq 2.4$ m, donc on prend : H= 3 m

XI.5 ASSAINISSEMENT DANS LA GARE

XI.5.1 Assainissement longitudinal

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

XI.5.2 Assainissement transversale

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales de la gare, la pente du quai de doit être de 2 % ou en V, selon le cas, pour permettre à ces eaux de s'écouler vers la voie puis à travers la pente transversale de la plate-forme.

Profile en travers type : voir annexe

CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.1 INTRODUCTION

Le plan de signalisation sera élaboré selon les spécifications contenues dans les règles SNTF et mentionnées dans le plan de signalisation. Les signaux présenteront les aspects prévus au Règlement Général de Sécurité.

XII.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION

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

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block).
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- Circulation à double sens, dans la même voie (nez à nez).
- Risque de déraillement dû à une vitesse excessive.
- Les voies ferrées croisent des routes au même niveau (passages à niveau).

XII.3 DIFFÉRENTES FONCTIONS DES SIGNAUX

Les signaux sont appelés à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

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

Chacun de ces signaux comprend typiquement un signal d'annonce et un signal de rappel ou d'exécution.

XII.4 GENRE ET ÉTALON DE SIGNALISATION

Sur les lignes à double voie, la circulation des trains se fait normalement à gauche, les signaux implantés à demeure sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie. Dans certains cas, notamment dans les entre –voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol.
La signalisation peut comprendre :

- Des tableaux lumineux.
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables.
- Des tableaux ou pancartes réflectrices.
- Des guidons d'arrêt…

Exceptionnellement, pour certains signaux à caractère amovible (signaux manuels), les signaux sont installés de façon permanente ou temporaire (signaux de chantier, etc.).
Les signaux implantés à demeure sont dit :

- Fixes, lorsqu'ils présentent un aspect invariable.
- Mobiles, lorsqu'ils présentent aux moins un aspect distincts.

Ces deux signaux correspondent respectivement à la position ≪signal ouvert≫ et à la position ≪signal fermé≫.

XII.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (au point à protéger) ou de respecter les limites de vitesse dans les zones délimitées, il est nécessaire de le prévenir à

une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en oeuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance.
Ces distances sont appelées respectivement :

- distance d'arrêt.
- distance de ralentissement.

La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :

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

XII.6 VISIBILITÉ DES SIGNAUX

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite.

❖ **Visibilité des signaux hauts**

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

❖ **Visibilité des signaux bas**

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au- dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

XII.7 PRINCIPE DE SIGNALISATION FERROVIAIRE

XII.7.1 Signalisation classique

❖ **Le canton**

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

Une voie ferre est composée de plusieurs canton et chaque canton est isole indépendamment par un joint isolant.

XII.7.1.1 Principe de base de cantonnement

La ligne de chemin de fer est divisée en sections appelées cantons. Chaque canton, est protégé par un signal, le cantonnement le moyen généralement utilisés pour assurer l'espacement entre les trains circulant dans le même sens sur une même voie.

En principe, un seul train est autorisé dans un canton.Lorsqu'un train entre dans un canton, les essieux du train créent un court-circuit entre les deux fils du rail. Cela provoque l'extinction du signal à l'entrée du canton, il présente donc un feu rouge. Lorsque le train entre dans le canton suivant, le signal protégeant devient rouge, alors que le signal du premier canton présente désormais un feu orange, Lorsque le train dans le troisième canton, le signal le protégeant indiquera un rouge. Le signal du deuxième canton indique une lumière jaune, et le signal du premier canton indique maintenant le chemin libre. (Lumière verte). Pour ce type de signalisation, il n'y a donc pas d'intervention humaine. C'est le train qui se protège lui-même



Figure XII.1 schéma illustratif de canton

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

- **Le block manuel (B.M.)**

Pour les lignes à faible trafic, fonctionnement manuel. Le nombre de signaux implantés sur les voies est très réduit, les installations de commande sont simples. L'inconvénient de ce type de bloc est qu'il ne permet pas un trafic important sur la ligne.

- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R.)**

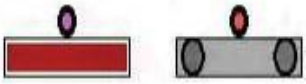
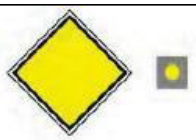
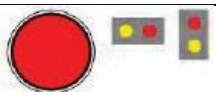
Pour les lignes à moyen trafic. Il s'agit d'un système automatique, mais la longueur des tronçons est relativement importante (plusieurs kilomètres). Par rapport au block manuel, le système présente l'avantage d'une sécurité accrue (risque d'erreur humaine réduit) tout en restant économique car le nombre de signaux implantés reste faible. De par son fonctionnement, ce type de bloc ne permet pas de grandes vitesses sur la ligne.

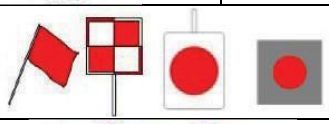
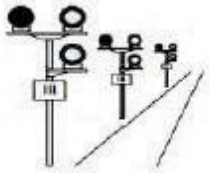
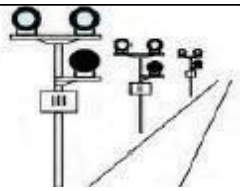
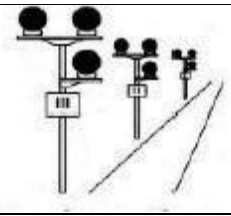
- **Le block automatique lumineux (B.A.L.)**

Pour la ligne principale. Ce système est automatique et permet un débit maximal sur une ligne, d'autre part il autorise également un espacement réduit des circulations puisque le franchissement des signaux d'espacements fermés en marche à vue est autorisé.

Tableau XII.1 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		

Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur		

	une distance réduite		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30 km/h Pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60 km/h Pour franchir une aiguille		
Le signal d'arrêt à main	commande l'arrêt immédiat		
Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire		
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F	L'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne verticale		
	Refouler par l'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale		
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.		

XII.7.2 Signalisation moderne

Tableau XII.2 Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Plaque d'identification	Indication
	Un signal carré

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

Le système de signalisation classique a été installé il y a 80 ans, il était révolutionnaire et adapté aux besoins de l'époque. .mais aujourd'hui nous avons besoin de faire circuler beaucoup plus de train qu'avant, et à mesure que le trafic et la demande augmentent, la SNTF doit installer l'ERTMS pour améliorer les performances et augmenter la capacité de trafic du réseau existant.

XII.7.2.1 Définition du système ERTMS

European **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire.

- **Fonctionnement d'ERTMS**

Avec l'ERTMS, il y a des balises au sol pour communiquer avec un autre système dans le train. Contrairement aux anciennes versions, l'ERTMS peut transmettre en continu sa position et sa vitesse via l'antenne à tout moment.

Grace à ce système les informations d'accélération et de ralentissement, d'arrêté sont transmises de façon continue et directement au conducteur de train qui peut ajuster sa conduite à tout moment donc on peut rouler plus vite et plus rapprochée donc faire passer plus de trains par heure et même faire repartir de façon plus fluide le trafic.

XII.8 CONCLUSION

Le type de système de signalisation choisi dans notre projet (la ligne SETIF /Ghourzi) est ERTMS.

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1 INTRODUCTION

Une étude d'impact environnemental décrit l'insertion et la justification du projet, qui décrit les différentes composantes du milieu récepteur. Cette étude est un outil privilégié pour planifier le développement et l'utilisation des ressources et des territoires.

Dans le cadre d'un projet de voie ferrée, une étude d'impact environnemental suit les différentes étapes de conception du projet.

- **Phase 01** : Recenser les documents et information concernant la voie ferrée existante, et définir le contexte économique, social et environnemental où la voie ferrée est inscrite. L'objectif étant de définir les conditions existantes de l'environnement avant la réalisation du projet
- **Phase 02** : La détermination des effets directs ou indirects importants du projet sur l'environnement. Ces éléments identifiés devront servir pour le meilleur choix de la variante de manière à atténuer les éventuels risques pouvant surgir à l'issue de ce projet
- **Phase 03** : il s'agit d'identifier un ensemble de mesures d'atténuation et de préciser la modalité de leur mise en œuvre pour permettre au projet une meilleure intégration dans le milieu récepteur

XIII.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Les objectifs du présent Étude d'impact sur l'environnement sont les suivants :

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

XIII.3 DESCRIPTION DU MILIEU

XIII.3.1 Milieu physique

Une présentation des aspects physiques caractérisant cette région, permettra de situer cette zone dans son contexte climatique, géologie, Relief, hydrodynamique et sismologique.

XIII.3.1.1 Relief

Une zone des hautes plaines dont l'altitude varie entre 800 et 1300 m.

XIII.3.1.2 Géologique et lithologie

D'après la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000, des feuilles de Sétif, les formations qui affleurent dans le périmètre d'étude appartiennent aux séries sédimentaires (datées du quaternaire).

XIII.3.1.3 Climatologie

Les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, très froid et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de *1 °C* à *32 °C* et est rarement inférieure à *-2 °C* ou supérieure à *37 °C*.

La pluviométrie au niveau de la wilaya de Sétif enregistre en moyenne 450 mm de pluie par an.

Les vents dominants sont les vents du Nord.

XIII.3.1.4 Hydrologie et hydrogéologie

La zone d'influence du projet présente un réseau hydrographique avec des bassins de caractéristiques morphologiques moyennement importantes.

Le bassin versant le plus important dans mon projet a une superficie de 38.10 km².

XIII.3.1.5 Sismologie

Notre projet se trouve entièrement dans la wilaya de Sétif, correspondant à la zone IIa (activité sismique moyenne).

XIII.3.2 Milieu humain

XIII.3.2.1 Démographie

Selon, les résultats du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2008), ont enregistré une population totale de 1489979 habitants à Sétif.

Le tableau suivant on trouve la répartition de la population des communes concernées par le tronçon étudié :

Tableau XIII.1 Population des communes concernées par le projet

Daïra	Wilaya	Superficie (km²)	Nombre d'habitants (hab)
El Eulma	Sétif	74,20	155 038
Bir Al Arch		365	24 995

XIII.3.2.2Activités économiques

XIII.3.2.3 L'Agriculture

La zone d'influence du projet, présente une très large dépression qui est d'une grande fertilité agricole.

La région était essentiellement agricole (blé, ovins, bovins, etc.). Elle est connue dans les milieux agricoles par l'excellente qualité de son blé et par le plus grand et important souk de bétail dans l'est du pays.

XIII.3.2.4 L'industrie

Le tissu industriel est très varié ou presque, toutes les branches industrielles sont présentes avec une prédominance des activités de fabrication (compteurs de toute sorte, fil de fer, baguettes de soudure, etc).

XIII.3.2.5 Le Commerce

La zone d'influence appartient à une zone à fort mouvement commercial. Cette région occupant 6 % des importations de l'algérie avec plus de 3500 commences de gros et semi-gros.
Une situation stratégique joue le rôle d'une zone de transit entre l'Est, le centre et l'Ouest du pays drainant un trafic routier important.

XIII.3.2.6 Les infrastructures de base

- **Les infrastructures ferroviaires**

La ligne ferroviaire Sétif/ Ghourzi (notre projet).

- **Les infrastructures aéroportuaires**

L'aéroport de Sétif ajoute à cette région un autre critère de valorisation économique.

- **Les infrastructures routières**

Le réseau routier de la zone d'influence du projet, il est représenté par deux principales routes nationales RN77 et RN5.

XIII.3.3 Biologique

XIII.3.3.1 Végétation

La zone d'étude est située dans un territoire avec rare surface forestière et de caractère principalement agricole.

XIII.3.3.2 Faune

La faune terrestre présente dans la zone d'étude est, en général, pauvre et se limite à des espèces généralistes, dû fondamentalement à l'usage intensif d'agriculture sur le sol, avec des surfaces peu abondantes de végétation naturelle et avec une faible continuité.

XIII.4 ANALYSE DES IMPACTS

XIII.4.1 Identification des impacts

L'identification des impacts du projet est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter. Cette analyse permet de mettre en relation les sources d'impact associées aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation voie ferrée et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées.

XIII.4.2 Activités génératrices des impacts appréhendent

De manière à bien identifier les impacts environnementaux engendrés par l'aménagement de la voie ferrée, il convient de déterminer les activités susceptibles de modifier le milieu. Ces activités sont issues de la description des aménagements proposés.

XIII.4.2.1 Géologie et géomorphologie

Les principales causes des altérations géologiques et géomorphologiques locales sont les terrassements, l'exploitation de carrières et d'emprunts, la création de décharges et l'occupation de l'espace par l'infrastructure elle-même.

Voici les principales conséquences :

- Augmentation des risques d'instabilité de versants.
- Changements dans la géomorphologie locale.

XIII.4.2.2 Hydrologie

Les cours d'eau situés dans la zone affectée par le projet peuvent subir diverses modifications lors de la construction et lors de l'exploitation des infrastructures. C'est un problème majeur pour les zones d'étude avec des réseaux hydrologiques importants.

Voici les principales conséquences:

- Perturbation ou détournement du réseau de drainage.
- Pollution des eaux superficielles en raison du déversement de substances.

XIII.4.2.3 Végétation

Les principales altérations sur la végétation sont dues aux interventions pendant la phase de construction, compte tenu du débroussaillage effectué sur les zones que le tracé occupera, sur les pistes d'accès, les emprunts, etc. L'ampleur de cette altération dépendra du type de végétation affectée et de la largeur qu'occupera l'infrastructure. À la fin des travaux, cette occupation prévaudra de manière permanente sur la plus grande partie de la superficie. Il s'agira d'un impact sans possibilité de récupération, malgré le traitement végétal des talus.

XIII.4.2.4 Faune

La construction et l'ouverture des voies ferrées ont des impacts différents sur la faune, qui peuvent être principalement divisés en quatre types: destruction ou dégradation de communautés spécifiques à la faune, effet barrière, animaux renversés et contraints de fuir. Voici les principales raisons:

- Modifications de la perméabilité: Les effets de barrière font référence à l'interception des mouvements d'animaux, notamment en raison des talus et des fermetures.
- Modifications dues au bruit, pollution, déchets: les gênes qui découlent de la circulation de véhicules causant des bruits, de la pollution, etc. Cet effet est plus important pendant les travaux.
- Modifications dues aux aménagements supplémentaires: De plus, il convient de mentionner l'impact qui pourrait potentiellement se produire sur la faune en raison de l'alimentation électrique pendant les travaux.

XIII.4.2.5 La qualité de l'air

La qualité de l'air est un facteur important étant donné que la pollution de l'air a principalement des effets nocifs sur la végétation, la faune et la santé humaine. Pendant la construction, les concentrations atmosphériques de particules, de gaz d'hydrocarbures, de

fumées et d'odeurs peuvent augmenter en raison du débroussaillage, de l'excavation, du remblayage, de la circulation des machines, etc.
Une fois le projet terminé, l'impact sur la qualité de l'air pendant le projet peut être presque complètement inversé, le seul impact résiduel étant une certaine quantité de polluants déposés sur le sol et la végétation avoisinante

XIII.4.2.6 Bruit et des vibrations

En ce qui concerne le niveau de bruit, pendant la construction, les niveaux acoustiques augmenteront à la suite des travaux de débroussaillage, excavation, remblayage, mouvement des machines, etc. dans les zones proches des travaux.

XIII.4.2.7 Paysage

Les principaux impacts du projet sur le paysage découleront de la perte de sa qualité intrinsèque due à l'intrusion de défrichements, remblayages et structures.

Comme l'intervention comprend le doublement de la voie ferrée existante, il sera également considéré lors de la phase d'exploitation que le paysage existant pourra s'y adapter sans perdre son caractère.

D'autres facteurs pouvant causer des changements au paysage sont les bancs d'emprunt et les décharges qui ont émergé au cours du projet.

XIII.4.2.8 Gisements archéologiques

Le principal impact du projet sur les éléments culturels et le patrimoine est l'impact possible sur le patrimoine archéologique suite au défrichement et au terrassement. Ce sont ces ressources fragiles, finies, uniques et irremplaçables qui peuvent être considérées comme des éléments « non renouvelables » de leur environnement.

XIII.4.2.9 Milieu social

En phase de construction, il aura certains impacts sur les riverains et les usagers des routes et chemins empruntés par la voie ferrée.

Voici les principales conséquences:

- L'aire de travaux constituera un obstacle à la circulation locale, un effet appelé « barrière ».
- De plus, pendant la phase de construction, le mode de vie des habitants de la zone va changer, ils seront affectés par le bruit, la pollution de l'air, la présence des ouvriers, les déplacements mécaniques, l'occupation temporaire de l'espace, etc.
- Modifications de la structure d'irrigation et effet des barrières causées par les voies de circulation du personnel et des véhicules conventionnels ou agricoles associés à ces tâches.
- Enfin, il convient de mentionner la rénovation des équipements de service public.

Dans le tableau suivant, nous synthétisons les éventuelles altérations que l'amélioration de la voie peut occasionner dans les services et installations.

Tableau XIII.2 Gravité des dommages (éventuels) causés aux réseaux

Réseau	Impact des dommages	Gravité de l'impact
Électricité : moyenne et basse Tension	Coupures du courant, accidents de personnes, coûts des réparations et retards dans le travail	Pertes de production localisées mais l'importantes et préjudice porté au public décès ou accident de l'opérateur faible
Canalisations moyennes de distribution d'eau	Coupures d'eau coûts des réparations et retards dans le travail	Aux exploitants risques sanitaires éventuels importants
Distribution d'eau locale	Coupures d'eau	Pertes de production localisées mais l'importantes et préjudices portés au public risques sanitaires éventuels
Câbles téléphoniques	Coupures	Communications nationales et internationales interrompues pertes de production et préjudice porté au public

XIII.4.3 Impacts positifs

La diversité des conditions socio-économiques que l'on peut observer dans les régions et les villes peut entraîner des impacts très variables des nouvelles infrastructures.

Concernant le projet de dédoublement de la ligne ferroviaire Sétif/Ghourzi, l'impact à moyen terme sera réalisé, notamment en ce qui concerne l'émergence de nouvelles industries tertiaires.

La mise en service de la nouvelle ligne participera à l'apparition de dynamiques nouvelles, qui nécessitent des actions concertées mobilisant un grand nombre de partenaires et d'actions économiques en faveur des entreprises, aménagement urbain à proximité des gares amélioration des transports de rabattement, etc.

A court terme, le projet tendra à atteindre les objectifs suivants :

- Augmenter la part des services ferroviaires dans la région.
- Réduire les gênes sonores par la modernisation de mode de transport.
- Optimiser le transport ferroviaire et contribuer à réduire le trafic routier.

XIII.5 MESURES TECHNIQUES D'INTEGRATION ENVIRONNEMENTALE

Aux impacts identifiés par rapport aux contraintes environnementales et sociales ainsi que la conception du projet et des ouvrages, les mesures techniques et préventives visent à réduire les différentes formes de pollution engendrée par les phases du projet. Elles concernent en particulier, la sécurité et le bien être des riverains, la protection de la biodiversité ainsi que la stabilité des sols.

XIII.5.1 Jalonnement

Les zones avoisinantes (pendant la construction) doivent être protégées par des clôtures, une signalisation et un système de délimitation du périmètre des travaux. Le public doit être informé des délais et des itinéraires temporaires à effectuer.
Pour assurer la sécurité des riverains, les mesures suivantes doivent être prises :

- Une campagne de prévention auprès de riverains et des utilisations du couloir où est intégrée la voie ferrée.
- Signalisation aux passages à niveau.
- Panneaux indiquant les dangers associés aux équipements électriques.

XIII.5.2 Installation et emplacement des chantiers

XIII.5.2.1 Emplacement des chantiers

De manière générale, le site devra être situé de telle sorte qu'il permet l'accès aisé :

- Aux routes principales existantes.
- Aux sites de construction.
- Aux infrastructures existantes.
- À l'extérieur des zones connues de recharge des nappes phréatiques.

XIII.5.2.2 Déversement des Eaux Usées

En général, il est préférable de raccorder le site au réseau d'égouts existant avec l'approbation de l'autorité compétente. Cette approbation dépendra du volume des eaux usées, des capacités existantes du système et de l'aptitude du système de traitement et de décharge à traiter le type de déchets prévu.

Lorsqu'il n'est pas possible de se connecter aux systèmes existants, il est nécessaire de construire un système autonome pour recycler et évacuer les eaux usées.

XIII.5.2.3 Accès

L'atténuation de l'impact du trafic de construction devrait inclure :

- Contrôle d'accés.
- Nettoyage des routes.
- Définition des routes et pistes d'accès autorisé.

Le contrôle d'accès nécessitera la restriction des mouvements tournants aux points d'accès autorisés et éventuellement d'améliorer le placement des intersections pour éviter et réduire les accidents.

Cela peut également inclure l'établissement d'un calendrier pour les engins de construction qui seront interdites pendant une période de temps spécifique

Certaines mesures doivent être prises concernant les accès d'entretien pour maintenir son chaussée en bon état. Les flaques d'huile, la boue et d'autres matériaux nécessitent un nettoyage régulier.

XIII.5.2.4 Déchets Solides

Il est de pratique courante que le chantier de construction bénéficie des services municipaux de collecte des déchets solides.

S'il n'est pas considéré comme faisable ou souhaitable que le chantier soit relié au système municipal de récupération des déchets, l'entrepreneur devra assurer la récupération quotidienne et le transport des matériaux vers le terrain de décharge requis et autorisé.

XIII.5.2.5 Déversements Accidentels et Fuites

Les déversements accidentels et les fuites de produits chimiques entreposés sur les sites constituent une menace sérieuse pour les ressources en eau.

Les entrepreneurs doivent s'attendre à des directives qui incluent les mesures suivant :

- Identifier les matériaux a séparé les uns des autres
- Techniques de manipulation appropriées
- Les employés utilisent des vêtements et des équipements de protection
- Autres mesures de sécurité telles que les systèmes de ventilation et de protection contre les incendies.

XIII.5.3 Protection de zones de dépôt et de stockage

Les modes de fonctionnement extraits doivent être établis de manière à perturber le moins possible la stabilité du sol, les changements de débit et la déformation du paysage.

La meilleure option est de garder le site de stockage des terres non réutilisables sur le même site au fur et à mesure que l'exploitation minière progresse, et de conserver la couche arable qui a été initialement défrichée pour la restauration et la revégétalisation.

XIII.5.4 Lutte contre l'érosion

L'observation des emprises de la voie, l'état de détérioration des drains par endroits tout au long de la voie, appellent à une prise en charge pour atténuer l'effet de l'hydromorphie des sols et évacuer l'excès des eaux de ruissellement et réduire leur stagnation.

XIII.5.5 Plan de routes, de chemins et de pistes du chantier

L'entrepreneur doit élaborer un plan de circulation lié à la phase de construction. Ce dernier doit inclure toutes les déviations causées par les travaux de contournement, c'est-à-dire les routes principales à fort trafic.

XIII.5.6 Végétalisation

La majorité des travaux de revégétalisation doit être réalisé à la fin des travaux de terrassement et d'assainissement de la voie ferrée, ainsi qu'à la fermeture des carrières, des bancs d'emprunt et des aires de stockage en remblais. Toutes les précautions seront prises pour éviter d'endommager les travaux réalisés. Il est nécessaire de prévoir : platelages, géotextiles, vérification de surcharge ou de roulements sur ouvrages enfouis, etc.

Les travaux comprendront :

- Toutes les fournitures et le transport pour la pépinière.

- Plantation, assurance et entretien des plants.
- Préparation du terrain.
- Installer des colliers, posés du paillis, des tuteurs et des géotextiles.

XIII.5.7 Mesures préconisées pour la protection de la faune

Les passages à faune, doivent être préconisés et positionnés en fonction des observations de terrain et des informations requises par les structures forestières et agricoles (dans le cas des sangliers). Les ouvrages hydrauliques peuvent servir de passages pour un certain type d'animaux, et il est judicieux d'ajuster leur conception pour optimiser leur structure.

XIII.5.8 Installations auxiliaires

D'un point de vue environnemental, le critère d'implantation des installations annexes est de préserver au maximum les zones exclues. Des localisations près de la plate-forme et loin des noyaux de population évitent des transits superflus, les problèmes de bruit et la génération de poussière, en minimisant l'affection de zones étrangères à la propre occupation de l'infrastructure.

L'adéquation de ces installations nécessitera des mesures de protection du système hydrologique (installation de bassins de rétention et décantation de sédiments ainsi que de zones imperméabilisées), comme la végétalisation et l'intégration paysagère. Inclut les actions suivantes :

- Enlevez la terre végétale et des approvisionnements périphériques.
- Après utilisation de la plate-forme, la structure sera démontée, nettoyée et débarrassée des résidus.
- Les bassins de rétention seront aussi démantelés en enterrant les boues si les analyses ne démontrent pas le contraire.

XIII.5.9 Mesures contre le bruit

Les impacts sonores étant une réalité quotidienne pour les futurs résidents, il est nécessaire de prendre des mesures pour atténuer les impacts sonores des voies ferrées.

Pour répondre à ces exigences, il est recommandé d'installer des écrans antibruit. Selon l'espace disponible, cet écran peut être constitué d'un seul mur, d'un mur avec butte ou d'une butte seule. Diverses mesures d'atténuation prévisibles sont répertoriées par région.

XIII.6 MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES :

XIII.6.1 Milieu physique

- Limiter les interventions sur les sols sensibles à l'érosion, fragiles, en pente ou peu portants. Désignation de zones de circulation privilégiées pour favoriser le rétablissement végétatif des espèces couramment présentes dans les zones perturbées afin de prévenir les risques d'érosion des sols.
- S'assurer, par un avis géotechnique préalable aux travaux, que le secteur ne risque pas de subir un glissement de terrain pendant et à la suite des travaux.
- Vérifier régulièrement l'emprise et la stabilité du terrain de part et d'autre avant, pendant et à la fin de l'opération.

- Ne jamais obstruer les cours d'eau et s'assurer que des canaux de drainage sont disponible pour évacuer les inondations soudaines.

XIII.6.2 Milieu humain

- Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes (par exemple les zones de, les fossés, etc.) qui présentent un risque d'accident.
- Limiter la circulation des véhicules aux chemins d'accès et/ou aux aires désignées aux travaux d'aménagement.
- Limiter les interventions à l'emprise des infrastructures à construire.
- Utiliser une signalisation appropriée pour assurer une bonne circulation de la machinerie et des véhicules lourds.
- Récupérer les zones affectées après la fin des travaux, porter une attention particulière aux zones à proximité des résidences ou aux espaces pour la pratique d'activités récréatives ou touristiques.
- Travailler en dehors de la période nocturne pour réduire le dérangement aux résidents avoisinants les aires de travaux.
- Assurer les négociations avec les propriétaires fonciers conformément aux lois sur l'acquisition de projets de services publics.
- Avertir et aviser les propriétaires des terrains qui seront modifié pendant la construction.
- Maintenir l'accès aux habitations et aux secteurs utilisés pour les activités récréotouristiques ainsi qu'aux terres agricoles lors des travaux.
- Marquer les infrastructures publiques (telles que lignes électriques, AEP et réseaux d'assainissement) situées dans ou à proximité de la zone de travail.

XIII.6.3 Milieu biologique

- Limiter le déboisement à l'emprise et favoriser la reprise végétale dans les zones affectées par le déboisement hors emprise.
- Stabiliser les talus en naturalisant les surfaces exposées ou en installant des structures de protection (murs nains, etc.).
- Évitez de conduire dans les zones marécageuses et limitez la circulation uniquement à l'emprise.
- Éviter de détourner les eaux de ruissellement directement vers les cours d'eau et les milieux humides et plutôt construire des bassins de rétention au sommet des talus pour limiter l'apport de matières en suspension ou de tout autre substances en provenance de la chaussée.
- Pendant et après la construction, assurer un bon drainage autour de la voie ferrée pour éviter la formation de mares et de marécages.
- Les arbres abattus doivent être envoyés à l'unité de transformation du bois.

XIII.6.4 Milieu visuel

- Réaliser les travaux de terrassement en pente selon la norme et recouvrir la surface d'une couche de terre végétale suffisante pour restaurer la végétation.

- Effectuer une coupe à ras de terre, du haut du talus extérieur du fossé jusqu'à la végétation existante préservée, en y maintenant en place l'humus, les plantes herbacées, les arbustes et les jeunes plants d'arbres existants.
- Effectuer des travaux de reboisement à l'aide d'espèces arborescentes et arbustives d'essences variées compatibles avec les usages et fonction de l'infrastructure ferroviaire. Si possible, utiliser des espèces représentatives des espèces environnantes et adaptées à la nature et aux taux d'humidité des sols.
- Sélectionner un mélange à gazon favorisant la poussée du couvert florifère naturel afin d'harmoniser les travaux avec les secteurs champêtres et les secteurs boisés.
- Planter le long de la voie ferrée et autour du remblai et sélectionner des espèces arbustives représentatives des espèces d'arbres environnantes mais dont la hauteur mature n'obstrue pas le champ de vision des usagers du chemin de fer.

XIII.7 CONCLUSION

Pour permettre la mise en œuvre des différentes résolutions prises pour l'intégration aspects environnementaux du projet et contrôle son application, il est nécessaire de procéder à Suivi et contrôle des mesures de préservation et de récupération. Ce suivi doit réaliser dans le cadre d'un programme de surveillance qui supervisera la phase de construction et exploitation des futures lignes ferroviaires et infrastructures planifiées en conséquence projet.

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT (DA)
1-Installation de chantier et études d'exécution					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	100 000 000.00	100 000 000.00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	30 000 000.00	30 000 000.00
1.3	Etude d'exécution	F	1.00	150 000 000.00	150 000 000.00
Total 1					**280 000 000.00**
2-Terassement généraux					
2.1	Déblai mis en remblai	M3	36543	900.00	32 888 700.00
2.2	Déblai mise en dépôt	M3	180099	800.00	144 079 200.00
2.3	Décapage de terre végétale 0.5 cm	M3	9750	300.00	2 925 000.00
2.4	Fourniture et mise en oeuvre de la couche de Forme	M3	87875	1 200.00	105 450 000.00
2.5	Fourniture et mise en oeuvre de la couche de fondation	M3	24214	3200.00	77 484 800.00
2.6	Fourniture et mise en oeuvre de la couche de sous ballast	M3	30741	3200.00	98 371 200.00
Total 2					**461 198 900.00**
3- Ouvrage d'art					
3.1	Viaduc	M2	370	150 000.00	55 500 000.00
3.2	Passage supérieur	M2	3037.85	120 000.00	364 542 000.00
3.3	Passage inférieur	M2	90	120 000.00	10 800 000.00
Total 3					**430 842 000.00**
4-Ouvrage hydraulique					
4.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	13000	6500.00	84 500 000.00
4.2	Buses en Béton Armé Ø1500	ML	100.89	50 000.00	5 044 500.00
4.3	Buses en Béton Armé Ø1000	ML	33.45	35 000.00	1 170 750.00
4.4	Dalot en béton armé 2.5x2	M3	251.45	35 000.00	8 800 750.00
4.5	Dalot en béton armé 2x1.5	M3	251.16	35 000.00	8 790 600.00
4.6	Dalot en béton armé 2.5x1.5	M3	124.61	35 000.00	4 361 350.00
4.7	Dalot en béton armé 3x2.5	M3	250.2	35 000.00	8 757 000.00
Total 4					**121 424 950.00**

5-Travaux de voie					
5.1	Fourniture et pose de ballast ép 0.3m	M3	46854	7000.00	327 978 000.00
5.2	Fourniture des rails UIC54	T	3017	120 000.00	362 040 000.00
5.3	Pose de voie UIC 54	ML	141	6 500.00	916 500.00
5.4	Fourniture d'appareil de voie UIC54-500-1/12	U	8	11 200 000.00	89 600 000.00
5.5	Pose d'un appareil de voie UIC 54-500-1/12	U	8	550 000.00	4 400 000.00
5.6	Fourniture d'appareil de voie UIC54-300-1/9	U	4	9 800 000.00	39 200 000.00
5.7	Pose d'un appareil de voie UIC 54-300-1/9	U	4	500 000.00	2 000 000.00
5.8	Fourniture d'appareil de voie UIC54-190-1/9	U	2	8 400 000.00	16 800 000.00
5.9	Pose d'un appareil de voie UIC 54-190-1/9	U	2	450 000.00	900 000.00
5.10	Fourniture des traverses en béton armé bibloc type B440	U	48229	5000.00	241 145 000.00
5.11	Fourniture d'attache élastique	U	192916	900.00	173 624 400.00
5.12	Fourniture et pose de heurtoirs	U	2	936 000.00	1 872 000.00
Total 5					**1 260 475 900.00**
6-Gare					
6.1	Bâtiments de Voyageurs + aménagement	M2	768.93	30 000.00	23 067 900.00
6.2	Quais	M2	3000	5 000.00	15 000 000.00
Total 6					**38 067 900.00**
7-Signalisation					
7.1	Signalisation	F	1	5 000 000.00	5 000 000.00
Total 7					**5 000 000.00**
Total complet (DA)					**2 597 009 650.00**
Total complet avec TVA (+19%) (DA)					**3 090 441 484.00**
Trois milliard quatre-vingt-dix million quatre cent quarante un mille quatre cent quatre-vingt-quatre dinars algérienne					

CONCLUSION GÉNÉRALE

Aujourd'hui, les infrastructures de transport symbolisent à quel point les pays sont développés, car elles permettent les échanges commerciaux et facilitent les déplacements et les communications.
Dans le passé, le transport routier répondait bien aux besoins des usagers, mais le rythme de croissance a créé des embouteillages et donc l'augmentation du temps de trajet.

Pour cela, l'état a investi dans le domaine ferroviaire en lançant un programme de modernisation des anciennes lignes et création de nouvelles lignes.

La partie étudiée fait partie d'un projet de modernisation et de doublement de la ligne ferroviaire Sétif/ Ghourzi (de PK305+500 à PK413+975).

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'enrichir nos connaissances, et de cerner tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter dans un projet de chemin fer.

Pour conclure, ce projet nous a donné une chance d'avoir une maitrise sur certains logiciels tels que AUTOCAD, CIVIL3D.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : https://www.sntf.dz/, consulté en ligne le 02 Avril 2017. https://www.sntf.dz/index.php/a-propos-de-la-sntf.

[2] les normes UIC (703 R). Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.2éme édition.

[3] RPOA 2008.

[4] les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.

[5] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.

[6] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3e Edition.

[7] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

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

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

[10] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.

[11] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.

[12] norme SNTF chapitre. 10

[13] Jean Alias « la voie ferrée » 2e édition 1984

[14] MORSLI RABEH, Cours voie ferrée 4eme et 5eme année

[15] https://www.geoforum.fr/topic/14664-fossiles-en-algerie/

Annexe A Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	-0+842.06	Altitude :	950.857m
Abscisse curviligne du PIV :	-0+794.07	Altitude :	950.856m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	-0+746.08	Altitude :	950.396m
Point élevé :	-0+842.06	Altitude :	950.857m
Pente d'entrée:	-0.00%	Pente de sortie:	-0.96%
Modifier	0.96%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	95.983m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance de dépassement :	597.753m	Distance d'arrêt :	403.400m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	-0+400.06	Altitude :	947.074m
Abscisse curviligne du PIV :	-0+352.57	Altitude :	946.619m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	-0+305.07	Altitude :	946.614m
Point bas :	-0+305.07	Altitude :	946.614m
Pente d'entrée:	-0.96%	Pente de sortie:	-0.01%
Modifier	0.95%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	94.988m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+561.40	Altitude :	946.526m
Abscisse curviligne du PIV :	0+596.11	Altitude :	946.522m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	0+630.83	Altitude :	946.760m
Point bas :	0+562.43	Altitude :	946.526m
Pente d'entrée:	-0.01%	Pente de sortie:	0.68%
Modifier	0.69%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	69.422m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+995.74	Altitude :	949.256m
Abscisse curviligne du PIV :	1+012.05	Altitude :	949.367m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	1+028.36	Altitude :	949.425m
Point élevé :	1+028.36	Altitude :	949.425m
Pente d'entrée:	0.68%	Pente de sortie:	0.36%
Modifier	0.33%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	32.615m	Rayon de la courbe	10,000.000m

Distance de dépassement :	1,634.200m	Distance d'arrêt :	1,062.239m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	1+315.31	Altitude :	950.452m
Abscisse curviligne du PIV :	1+348.42	Altitude :	950.571m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	1+381.53	Altitude :	950.908m
Point bas :	1+315.31	Altitude :	950.452m
Pente d'entrée:	0.36%	Pente de sortie:	1.02%
Modifier	0.66%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	66.215m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	2+829.03	Altitude :	965.673m
Abscisse curviligne du PIV :	2+848.94	Altitude :	965.876m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	2+868.85	Altitude :	966.000m
Point élevé :	2+868.85	Altitude :	966.000m
Pente d'entrée:	1.02%	Pente de sortie:	0.62%
Modifier	0.40%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	39.818m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance de dépassement :	1,345.128m	Distance d'arrêt :	876.634m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	3+578.77	Altitude :	970.414m
Abscisse curviligne du PIV :	3+622.55	Altitude :	970.686m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	3+666.34	Altitude :	970.555m
Point élevé :	3+637.84	Altitude :	970.598m
Pente d'entrée:	0.62%	Pente de sortie:	-0.30%
Modifier	0.92%	K :	95.000m
Longueur de la courbe :	87.571m	Rayon de la courbe	9,500.000m
Distance de dépassement :	616.227m	Distance d'arrêt :	413.856m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	4+565.11	Altitude :	967.858m
Abscisse curviligne du PIV :	4+574.03	Altitude :	967.832m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	4+582.95	Altitude :	967.821m
Point bas :	4+582.95	Altitude :	967.821m
Pente d'entrée:	-0.30%	Pente de sortie:	-0.12%
Modifier	0.18%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	17.848m	Rayon de la courbe	10,000.000m

Distance des phares :

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	6+295.95	Altitude :	965.739m
Abscisse curviligne du PIV :	6+307.03	Altitude :	965.726m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	6+318.11	Altitude :	965.737m
Point bas :	6+308.11	Altitude :	965.732m
Pente d'entrée:	-0.12%	Pente de sortie:	0.10%
Modifier	0.22%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	22.152m	Rayon de la courbe	10,000.000m

Distance des phares :

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	7+301.52	Altitude :	966.720m
Abscisse curviligne du PIV :	7+342.02	Altitude :	966.761m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	7+382.52	Altitude :	966.473m
Point élevé :	7+311.52	Altitude :	966.725m
Pente d'entrée:	0.10%	Pente de sortie:	-0.71%
Modifier	0.81%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	81.000m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance de dépassement :	691.955m	Distance d'arrêt :	461.651m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	8+331.89	Altitude :	959.733m
Abscisse curviligne du PIV :	8+349.05	Altitude :	959.611m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	8+366.22	Altitude :	959.538m
Point bas :	8+366.22	Altitude :	959.538m
Pente d'entrée:	-0.71%	Pente de sortie:	-0.42%
Modifier	0.29%	K :	120.000m
Longueur de la courbe :	34.328m	Rayon de la courbe	12,000.000m

Distance des phares :

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	8+581.12	Altitude :	958.627m
Abscisse curviligne du PIV :	8+599.04	Altitude :	958.551m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	8+616.96	Altitude :	958.515m
Point bas :	8+616.96	Altitude :	958.515m
Pente d'entrée:	-0.42%	Pente de sortie:	-0.20%
Modifier	0.22%	K :	160.000m
Longueur de la courbe :	35.836m	Rayon de la courbe	16,000.000m

Distance des phares :

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	8+964.03	Altitude :	957.821m
Abscisse curviligne du PIV :	8+984.03	Altitude :	957.781m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	9+004.03	Altitude :	957.661m
Point élevé :	8+964.03	Altitude :	957.821m
Pente d'entrée:	-0.20%	Pente de sortie:	-0.60%
Modifier	0.40%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	40.000m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance de dépassement :	1,339.202m	Distance d'arrêt :	872.835m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	9+458.03	Altitude :	954.937m
Abscisse curviligne du PIV :	9+474.03	Altitude :	954.841m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	9+490.03	Altitude :	954.777m
Point bas :	9+490.03	Altitude :	954.777m
Pente d'entrée:	-0.60%	Pente de sortie:	-0.40%
Modifier	0.20%	K :	160.000m
Longueur de la courbe :	31.999m	Rayon de la courbe	16,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	10+233.85	Altitude :	951.802m
Abscisse curviligne du PIV :	10+249.05	Altitude :	951.741m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	10+264.26	Altitude :	951.651m
Point élevé :	10+233.85	Altitude :	951.802m
Pente d'entrée:	-0.40%	Pente de sortie:	-0.59%
Modifier	0.19%	K :	160.000m
Longueur de la courbe :	30.412m	Rayon de la courbe	16,000.000m
Distance de dépassement :	2,791.402m	Distance d'arrêt :	1,809.955m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	10+894.53	Altitude :	947.932m
Abscisse curviligne du PIV :	10+924.03	Altitude :	947.758m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	10+953.54	Altitude :	947.758m
Point bas :	10+953.54	Altitude :	947.758m
Pente d'entrée:	-0.59%	Pente de sortie:	0.00%
Modifier	0.59%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	59.008m	Rayon de la	10,000.000m

		courbe	
Distance des phares :			
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	11+664.03	Altitude :	947.758m
Abscisse curviligne du PIV :	11+689.03	Altitude :	947.758m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	11+714.03	Altitude :	947.633m
Point élevé :	11+664.03	Altitude :	947.758m
Pente d'entrée:	0.00%	Pente de sortie:	-0.50%
Modifier	0.50%	K :	100.000m
Longueur de la courbe :	50.000m	Rayon de la courbe	10,000.000m
Distance de dépassement :	1,080.350m	Distance d'arrêt :	707.260m
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	12+008.24	Altitude :	946.162m
Abscisse curviligne du PIV :	12+024.02	Altitude :	946.083m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	12+039.80	Altitude :	946.035m
Point bas :	12+039.80	Altitude :	946.035m
Pente d'entrée:	-0.50%	Pente de sortie:	-0.30%
Modifier	0.20%	K :	160.000m
Longueur de la courbe :	31.567m	Rayon de la courbe	16,000.000m
Distance des phares :			
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	12+558.28	Altitude :	944.466m
Abscisse curviligne du PIV :	12+586.85	Altitude :	944.379m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	12+615.43	Altitude :	944.111m
Point élevé :	12+558.28	Altitude :	944.466m
Pente d'entrée:	-0.30%	Pente de sortie:	-0.94%
Modifier	0.63%	K :	90.000m
Longueur de la courbe :	57.146m	Rayon de la courbe	9,000.000m
Distance de dépassement :	859.616m	Distance d'arrêt :	565.824m

Annexe B RAPPORT DE COURBE D'ALIGNEMENT

Tangent Data

Length:	126.919	Course:	S 85° 37' 43.6399" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	50.000	L Tan:	33.338
Radius :	480.000	S Tan:	16.671
Theta:	02° 59' 02.9587"	P:	0.217
X:	49.986	K:	24.998
Y:	0.868	A:	154.919
Chord:	49.994	Course:	S 86° 37' 24.5439" E

Circular Curve Data

Delta:	22° 45' 34.3230"	Type:	LEFT
Radius:	480.000		
Length:	190.670	Tangent:	96.609
Mid-Ord:	9.436	External:	9.626
Chord:	189.419	Course:	N 80° 00' 26.2399" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	50.000	L Tan:	33.338
Radius:	480.000	S Tan:	16.671
Theta:	02° 59' 02.9587"	P:	0.217
X:	49.986	K:	24.998
Y:	0.868	A:	154.919
Chord:	49.994	Course:	N 66° 38' 17.0237" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	50.000	L Tan:	33.338
Radius:	480.000	S Tan:	16.671
Theta:	02° 59' 02.9587"	P:	0.217
X:	49.986	K:	24.998
Y:	0.868	A:	154.919
Chord:	49.994	Course:	N 66° 38' 17.0237" E

Circular Curve Data

Delta:	25° 12' 45.3065"	Type:	RIGHT
Radius:	480.000		
Length:	211.220	Tangent:	107.348
Mid-Ord:	11.571	External:	11.857
Chord:	209.520	Course:	N 81° 14' 01.7316" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	50.000	L Tan:	33.338

Radius:	480.000	S Tan:	16.671
Theta:	02° 59' 02.9587"	P:	0.217
X:	49.986	K:	24.998
Y:	0.868	A:	154.919
Chord:	49.994	Course:	S 84° 10' 13.5605" E

Tangent Data

Length:	513.317	Course:	S 83° 10' 32.6565" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	60.000	L Tan:	40.011
Radius:	420.000	S Tan:	20.010
Theta:	04° 05' 33.2004"	P:	0.357
X:	59.969	K:	29.995
Y:	1.428	A:	158.745
Chord:	59.986	Course:	S 81° 48' 41.8018" E

Circular Curve Data

Delta:	26° 16' 56.9622"	Type:	RIGHT
Radius:	420.000		
Length:	192.661	Tangent:	98.056
Mid-Ord:	10.999	External:	11.295
Chord:	190.976	Course:	S 65° 56' 30.9750" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	60.000	L Tan:	40.011
Radius:	420.000	S Tan:	20.010
Theta:	04° 05' 33.2004"	P:	0.357
X:	59.969	K:	29.995
Y:	1.428	A:	158.745
Chord:	59.986	Course:	S 50° 04' 20.1481" E

Tangent Data

Length:	418.745	Course:	S 48° 42' 29.2934" E

Tangent Data

Length:	820.225	Course:	S 48° 42' 29.2929" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	120.000	L Tan:	80.009
Radius:	1300.000	S Tan:	40.008
Theta:	02° 38' 39.9141"	P:	0.462
X:	119.974	K:	59.996
Y:	1.846	A:	394.968

Chord:	119.989	Course:	S 49° 35' 22.5404" E

Circular Curve Data

Delta:	06° 15' 28.1504"	Type:	LEFT
Radius:	1300.000		
Length:	141.985	Tangent:	71.063
Mid-Ord:	1.938	External:	1.941
Chord:	141.915	Course:	S 54° 28' 53.2822" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	120.000	L Tan:	80.009
Radius:	1300.000	S Tan:	40.008
Theta:	02° 38' 39.9141"	P:	0.462
X:	119.974	K:	59.996
Y:	1.846	A:	394.968
Chord:	119.989	Course:	S 59° 22' 24.0240" E

Tangent Data

Length:	677.094	Course:	S 60° 15' 17.2715" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	S 61° 22' 32.7696" E

Circular Curve Data

Delta:	32° 23' 39.2457"	Type:	LEFT
Radius:	1150.000		
Length:	650.194	Tangent:	334.043
Mid-Ord:	45.646	External:	47.533
Chord:	641.568	Course:	S 79° 48' 53.7417" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	N 81° 44' 45.2862" E

Tangent Data

Length:	122.549	Course:	N 80° 37' 29.7881" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	N 79° 30' 14.2900" E

Circular Curve Data

Delta:	19° 15' 34.0331"	Type:	LEFT
Radius:	1150.000		
Length:	386.562	Tangent:	195.122
Mid-Ord:	16.204	External:	16.436
Chord:	384.745	Course:	N 67° 37' 55.9242" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	N 55° 45' 37.5584" E

Tangent Data

Length:	97.630	Course:	N 54° 38' 22.0604" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	N 55° 45' 37.5584" E

Circular Curve Data

Delta:	27° 30' 17.2472"	Type:	RIGHT
Radius:	1150.000		
Length:	552.057	Tangent:	281.454
Mid-Ord:	32.968	External:	33.941
Chord:	546.771	Course:	N 71° 45' 17.5313" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	135.000	L Tan:	90.016
Radius:	1150.000	S Tan:	45.015
Theta:	03° 21' 46.8473"	P:	0.660
X:	134.953	K:	67.492
Y:	2.641	A:	394.018
Chord:	134.979	Course:	N 87° 44' 57.5042" E

Tangent Data

Length:	755.109	Course:	N 88° 52' 13.0022" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	150.000	L Tan:	100.029
Radius:	1000.000	S Tan:	50.027
Theta:	04° 17' 49.8605"	P:	0.937
X:	149.916	K:	74.986
Y:	3.748	A:	387.298
Chord:	149.963	Course:	N 87° 26' 16.6277" E

Circular Curve Data

Delta:	25° 30' 57.1192"	Type:	LEFT
Radius:	1000.000		
Length:	445.336	Tangent:	226.422
Mid-Ord:	24.688	External:	25.313
Chord:	441.665	Course:	N 71° 48' 54.5821" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	150.000	L Tan:	100.029
Radius:	1000.000	S Tan:	50.027
Theta:	04° 17' 49.8605"	P:	0.937
X:	149.916	K:	74.986
Y:	3.748	A:	387.298
Chord:	149.963	Course:	N 56° 11' 32.5366" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	150.000	L Tan:	100.029
Radius:	1000.000	S Tan:	50.027
Theta:	04° 17' 49.8605"	P:	0.937
X:	149.916	K:	74.986
Y:	3.748	A:	387.298
Chord:	149.963	Course:	N 56° 11' 32.5366" E

Circular Curve Data

Delta:	43° 16' 57.6316"	Type:	RIGHT
Radius:	1000.000		

Length:	755.425	Tangent:	396.763
Mid-Ord:	70.489	External:	75.835
Chord:	737.591	Course:	N 80° 41' 54.8383" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	150.000	L Tan:	100.029
Radius:	1000.000	S Tan:	50.027
Theta:	04° 17' 49.8605"	P:	0.937
X:	149.916	K:	74.986
Y:	3.748	A:	387.298
Chord:	149.963	Course:	S 74° 47' 42.8599" E

Tangent Data

Length:	73.289	Course:	S 73° 21' 46.4854" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	80.000	L Tan:	53.334
Radius:	2100.000	S Tan:	26.668
Theta:	01° 05' 28.8535"	P:	0.127
X:	79.997	K:	40.000
Y:	0.508	A:	409.878
Chord:	79.999	Course:	S 72° 59' 56.8716" E

Circular Curve Data

Delta:	10° 34' 14.2520"	Type:	RIGHT
Radius:	2100.000		
Length:	387.434	Tangent:	194.268
Mid-Ord:	8.928	External:	8.967
Chord:	386.884	Course:	S 66° 59' 10.5059" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	80.000	L Tan:	53.334
Radius:	2100.000	S Tan:	26.668
Theta:	01° 05' 28.8535"	P:	0.127
X:	79.997	K:	40.000
Y:	0.508	A:	409.878
Chord:	79.999	Course:	S 60° 58' 24.1403" E

Tangent Data

Length:	732.376	Course:	S 60° 36' 34.5265" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337

Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 61° 14' 46.3361" E

Circular Curve Data

Delta:	11° 35' 14.7866"	Type:	LEFT
Radius:	1500.000		
Length:	303.358	Tangent:	152.198
Mid-Ord:	7.662	External:	7.702
Chord:	302.842	Course:	S 68° 18' 47.4133" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 75° 22' 48.4906" E

Tangent Data

Length:	2939.377	Course:	S 76° 01' 00.3002" E

Length = Longueur
Radius = Rayon
Circular Curve Data = Données de courbe circulaire
Spiral Curve Data : clothoid = Données de courbe en spirale : clothoïde
Tangent Data = Données de tangent

Annexe C Classifications des sols selon UIC.

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	• Sols organiques. • Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. • sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) • Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). • Sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	• Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). • Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. • Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). • Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. • Roches tendres par exemple : • Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	• Sol comportant de 5 à 15% de fines. • Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). • Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	• Sols comportant moins de 5% de fines • Roches dures par exemples : • Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe D1 COORDONNEES DES APPAREILS DE VOIESS

APPAREIL N°	PTS	COORDONNEES		TYPE D' APPAREIL
		X(m)	Y(m)	
1	A	740950.1512	4003401.2994	UIC 54, R500-1/12 Deviation à droite
	B	740970.8876	4003399.714	
	C	740991.6241	4003398.1286	
	D	740991.4221	4003396.4196	
2	A	741041.7829	4003390.0815	UIC 54, R500-1/12 Deviation à droite
	B	741021.046	4003391.6669	
	C	741000.31	4003393.2523	
	D	741000.512	4003394.9613	
3	A	741051.5595	4003389.334	UIC 54, R500-1/12 Deviation à gauche
	B	741072.296	4003387.7486	
	C	741093.0325	4003386.1632	
	D	741093.0925	4003387.8829	
4	A	741143.8347	4003386.4913	UIC 54, R500-1/12 Deviation à gauche
	B	741123.0982	4003388.0767	
	C	741102.3617	4003389.6622	
	D	741102.3017	4003387.9424	
5	A	741777.0149	4003474.5709	UIC 54, R300-1/9 Deviation à droite
	B	741793.5132	4003472.5965	
	C	741810.0115	4003470.6221	
	D	741809.6638	4003468.6912	
6	A	741771.1233	4003479.5059	UIC 54, R300-1/9 Deviation à gauche
	B	741787.6216	4003477.5316	
	C	741804.1199	4003475.5572	
	D	741804.2366	4003477.3547	
7	A	741883.868	4003475.3677	UIC 54, R190-1/9 Deviation à gauche
	B	741873.4195	4003476.6181	
	C	741856.9212	4003478.5925	
	D	741856.8045	4003476.795	
8	A	742189.6872	4003438.7696	UIC 54, R190-1/9 Deviation à droite
	B	742200.1357	4003437.5192	
	C	742216.634	4003435.5448	
	D	742216.315	4003433.735	
9	A	742298.5318	4003416.3898	UIC 54, R300-1/9 Deviation à droite
	B	742282.0335	4003418.3642	
	C	742265.5352	4003420.3385	
	D	742265.8542	4003422.1483	
10	A	742297.6134	4003412.2697	UIC 54, R300-1/9 Deviation à gauche
	B	742281.1152	4003414.2441	
	C	742265.5352	4003420.3385	
	D	742265.8542	4003422.1483	
11	A	742739.4935	4003145.5503	UIC 54, R500-1/12 Deviation à gauche
	B	742755.1227	4003131.83	
	C	742770.752	4003118.1095	
	D	742755.1229	4003131.8298	
12	A	742811.4293	4003087.9892	UIC 54, R500-1/12 Deviation à gauche
	B	742795.8002	4003101.7094	
	C	742780.171	4003115.4297	
	D	742779.0856	4003114.0844	
	A	742818.7986	4003081.5199	

13	B	742834.4277	4003067.7997	UIC 54, R500-1/12 Deviation à droite
	C	742850.0568	4003054.0794	
	D	742848.878	4003052.843	
14	A	742885.6143	4003017.276	UIC 54, R500-1/12 Deviation à droite
	B	742869.9851	4003030.9963	
	C	742854.356	4003044.7165	
	D	742855.5348	4003045.953	

Annexe D2 Coordonnées d'implantations des garages francs

GARAGE FRANC	PK	X(m)	Y(m)
3	PK 338+888.91	741116.1679	4003384.3943
5	PK 339+622.50	741831.244	4003468.0812
6	PK 339+614.02	741825.3524	4003473.0162
7	PK 339+627.29	741839.6604	4003480.6581
8	PK 340+024.33	742233.8948	4003433.4792
9	PK 340+035.92	742244.3027	4003422.8795
10	PK 340+035.50	742243.3844	4003418.7594
12	PK 340+642.77	742762.7338	4003130.7372