



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji - Laghouat

FACULTÉ : DE GÉNIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : DE GÉNIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Mokhtari Ahmed

Haddi Laid

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIES ET OUVRAGES D'ART

Thème

**Etude d'un projet de ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat tronçon du
pk 67+000 au pk 71+000**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. Ziregue .A	MCB	Président
Mr. Bachiri.A	MAB	Examineur
Mr. Hadjoudja.M	MCA	Rapporteur
Mr. Rachidi. N	MAB	Co-rapporteur

Promotion : 2020/2021

عنوان المذكرة : دراسة خط السكة الحديدية الجلفة -الأغواط بين النقطة الكيلومترية 67 الى 71

الاسم واللقب الطلبة : مختاري أحمد، حدي العيد

المؤطر: الأستاذ حجوجة مراد، نواري رشدي

ملخص:

النقل بالسكك الحديدية لعب دائما دورا رئيسيا في التنمية الاقتصادية في معظم البلدان ولكن إهمال هذا النمط من النقل من قبل الدولة الجزائرية سمح للنقل البري بالتطور في أغلب المدن الجزائرية مع أن لهذا الأخير العديد من الآثار السلبية على الكفاءة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية.

لكن في السنوات الأخيرة عرف قطاع النقل بالسكك الحديدية تطورا ملحوظا بفضل رغبة السلطات و وضعها لبرنامج جديد لعصرنه هذا القطاع و كهربة خطوط السكك الحديدية لتحسين نوعية الخدمة و فك العزلة عن المناطق النائية في البلد و ضمان النمو الاقتصادي والاجتماعي المتوازن.

الهدف من هذه المذكرة دراسة خط السكك الحديدية أحادي المسار الذي يربط بين مدينة الجلفة ومدينة الأغواط على مسافة 110 كلم بسرعة 220 كلم/ساعة لقطارات الركاب وبسرعة 110 كلم/ساعة لقطارات الشحن حيث يمتد المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 67 كلم الى 71 كلم على مسافة 4 كلم.

يأخذ هذا العمل في الاعتبار ارتفاع المنطقة المدروسة وفقاً للمعايير الدولية UIC، وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية ، باستخدام برنامج Covadis 2013.

كلمات مفتاحية : خط السكة الحديدية، عارض، مقطع طولي، حصى، السكة

Memory title: Study of a project for the Djelfa-Laghouat railway line, section from pk 67 + 000 to pk 71 + 000

**First name and Name: Mokhtari ahmed Haddi laid Directed by: Dr. Hadjoudja Mourad,
: Dr Rachidi Nouari**

Abstract

Rail transport has always played a key role in the economic development of most countries, but the neglect of this mode of transport by the Algerian state has allowed the road mode to develop in most Algerian cities. This last one constitutes a source of several negative effects on the socio-economic and environmental level which puts the efficiency of the transport service in question.

But the rail transport sector has known in the last years a remarkable development carried by the will of the public authorities by a new program of modernization and electrification of the railways to reinforce the capacity of reception and to open up the remote regions of the country and to ensure a balanced economic and social growth.

This project summarizes the study of the detailed design of a single track railway line linking the city of Djelfa to that of Laghouat over a distance of 110 km, at a speed of 220 km / h for passenger trains, and a speed of 100 km / h for freight trains. The studied section starts from KP 67+000 to KP 71+000 over a distance of 4 km.

This work takes into consideration the survey of the studied area according to the international standards UIC, and the Algerian recommendations of SNTF, using the software Covadis 2013.

Key words: Railway line, sleeper, longitudinal profile, ballast, rail.

Titre du mémoire : Etude d'un projet de ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat tronçon du pk 67+000 au pk 71+000

Nom et Prénom : Mokhtari Ahmed,
: Haddi Laid

L'Encadreur : Dr Hadjoudja Mourad,
: Dr Rachidi Nouari

Résumé :

Le transport ferroviaire joue depuis toujours un rôle clé dans le développement économique de la plupart des pays, mais la négligence de ce mode de transport par l'état algérienne a permis au mode routier de se développer dans la plus part des villes algériennes.

Ce dernier constitue une source de plusieurs effets négatifs sur le plan socio-économique et environnemental ce qui met l'efficacité du service de transport en question.

Mais le secteur du transport ferroviaire a connu dans les dernières années un développement remarquable porté par la volonté des pouvoirs publics par un nouveau programme de modernisation et l'électrification des voies ferrées pour renforcer la capacité d'accueil et désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Le présent mémoire synthétise l'étude en avant-projet détaillé d'une ligne ferroviaire à voie unique qui relie la ville de Djelfa à celle de Laghouat sur un linéaire de 110 km, à une vitesse de 220 km/h pour les trains de voyageurs, et une vitesse de 100 km/h pour les trains de marchandises. Le tronçon étudié démarre du PK 67+000 au PK 71+000 sur une distance de 4 km.

Ce travail prend en considération le levé de la zone étudiée selon les normes internationales UIC, et les recommandations algériennes de la SNTF, en utilisant le logiciel Covadis 2013.

Mots clés : Ligne ferroviaire, traverse, profil en long, ballast, rail

SOMMAIRE

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE	
I .1 . Introduction :.....	4
I.2. Historique.....	4
I. 2 .1. Dans le monde.....	4
I. 2 .2. En Algérie	5
I. 2.2.1. Situation du réseau avant l'indépendance	5
I. 2.2.2. Après l'indépendance	7
I.2.2.3. Réseau ferroviaire national :	7
I.2.2.4. Les grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie :	8
I.2.2.5. Réseau de la rocade :	8
I.3. Avantage des chemins de fer :	10
I.4. Conclusion :	10
CHAPITRE II.....	11
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU PROJET	
II .1. Introduction	12
II. 2. Généralités sur la wilaya de Laghouat.....	12
II.2.1. Situation géographique	12
II. 2.2. Situation démographique	12
II. 2.3. Climat	12
II .2.4. Les reliefs	12
II.2.5 Infrastructures de base	13
II. 2.5.1 Infrastructure aéroportuaire	13
II .3. Présentation du tronçon étudié :	13
II. 3.1 Objectif du projet.....	14
II.3.2 Caractéristiques du projet	14
II.3.3. Les normes appliquées	14
II.3.4. Description du projet	14
II. 4. Conclusion :	15
CHAPITRE III ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE	
III .1. Introduction	17
III .2. Géologie :	17
III.2.1. Cadre géomorphologique :	17

III. 2.2. Contexte géologique local :.....	18
III.2.3. Cadre sismique	18
III.3 .Géotechnique.....	19
III.3.1. Le programme d’investigation géotechnique :.....	19
III .3.2. Essais in situ.	19
III .3 .3. Essais de laboratoire :.....	20
III.3.4.Les résultats des essais :.....	23
III .4. Interprétation des résultats	24
III.4.1 Analyse granulométrique	24
III . 4.1.1 Plasticité	24
III .4.1.2 Densité.....	24
III .4.1.3 Teneur en eau et saturation.....	24
III . 4.2 Caractéristiques géotechniques de l’unité 5 (Grés).....	25
III .4.2.2 Résistance à la compression simple	25
III.5. Conclusion :	25

CHAPTER IV ETUDE GEOMETRIQUE DE LE PRESENTE TRACE

IV. 1. Tracé en plan.....	27
IV. 1.1. Introduction.....	27
IV.1.2. Règles à respecter pour le choix du tracé en plan	27
IV. 1.3. Eléments de tracé en plan.....	27
IV. 1 .4. Le Dévers	29
IV. 1.5. Longueur minimum des éléments de tracé	32
IV.1 .6. Rayon minimum de l'alignement circulaire	32
IV .1.7. Raccordement de dévers	33
IV. 1.8. Application pour notre projet	34
IV.2. Profil en long.....	39
IV.2.1 Règles à respecter dans le tracé du profil en long.....	39
IV. 2.2 Eléments géométriques du profil en long	39
IV.2.3. Longueur minimale des éléments du profil en long	40
IV.2.4 Le raccordement en profil en long	40
IV.2 .5. Déclivité maximale	41
IV.2 .6. Coordination profil en long-tracé en plan	42
IV.2.8. Application au projet.....	42
IV. 3. Le profil en travers.....	46
IV. 3.1. Définition	46
IV. 3.1.1. Profil en travers type	46
IV. 3 .1.2. Profil en travers courant	46
IV. 3 .2. Constituants du profil en travers type	46
IV. 3 .3. Cas de notre projet	47

IV. 3.4. Les éléments du profil en travers	48
IV.4. Conclusion	50

CHAPITRE V TERRASSEMENTS ET COUCHES D'ASSISE

V. 1. Terrassement	48
V.1.1. Remblai	48
V. 1.3. Calcul des cubatures	49
V. 2. Couches d'assise	49
V. 2. 1. Introduction	49
V. 2.2. Les différentes couches d'assise.....	50
V. 2.2.1. La couche de ballast	50
V. 2.2.2. La sous-couche	52
V. 2.3. Dimensionnement des couches d'assise	53
V. 3. Application au projet	58
V. 3.1 Calcul de l'épaisseur du ballast	58
V. 3.2 Les paramètres de dimensionnement de notre projet	58
V. 4. Conclusion	58

CHAPITRE VI LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE ETUDE

VI. 1. Introduction	60
VI. 2. Catégories de la voie	61
VI. 2. 1. Les rails	61
VI. 2.1.2. Type de rail	61
VI. 2.1.3. Ecartement des rails	63
VI. 2.1.5. Assemblage des rails	63
VI. 2.1.5.2. Défauts des rails	64
VI. 3.1. Avantages et inconvénients des L R S	65
VI. 4. Application pour notre projet	66
VI. 5. Les traverses	68
VI. 5. 1. Traverses en bois	68
VI. 5. 2. Traverses en béton armé	69
VI. 5. 3. Traverses métalliques	71
VI. 5. 4. Rôle des traverses	71
VI. 5. 5. Les attaches	72
VI. 6. Conclusion	73

CHAPITRE VII OUVRAGES D'ART

VII. 1. Introduction	75
VII. 2. Influence sur le choix du type d'ouvrage	75
VII. 3. Description de l'ensemble des ouvrages d'art	76
VII. 3. 1 Définition et catégories des ponts	76
VII. 3. 2. Les ouvrages de drainage transversal	76

VII .3.3. Les ouvrages de drainage longitudinal	78
VII. 4. Conclusion	80

CHAPITRE VIII SIGNALISATION FERROVIAIRE

VIII. 1. Introduction	81
VIII. 2. Rôle des installations de signalisation	81
VIII. 3. Le système européen de contrôle des trains	81
VIII.4. Type de signalisation	84
VIII.2. Conclusion	86

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale	88
Références Bibliographiques	89
Les Annexes	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III- 1: Classe des zones sismiques.....	19
Tableau III- 2 : Caractéristiques géotechniques de Limon	23
Tableau III -3: Caractéristiques géotechniques de l'unité 5 (Grés)	24
Tableau IV.1 : Tableau des valeurs limites du dévers pratique (SNTF).....	30
Tableau IV.2 : Tableau des valeurs limites	31
Tableau IV.3 : Tableau des valeurs limites de l'excès du dévers	32
Tableau IV.4 : Longueur minimale à respecter (source fiche SNTF Géométrie)	32
Tableau IV.5 : Les valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé en plan (SNTF) pour une vitesse de 220 km/h.....	34
Tableau IV.6 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF Géométrie de la voie).....	40
Tableau IV.7 : Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter.....	41
Tableau V.1 : Caractéristiques des remblais	48
Tableau V.3 : Les valeurs des volumes.....	49
Tableau V.2 : Les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.	56
Tableau V.3 : Les épaisseurs des différentes couches	58
Tableau VI. 1 : Caractéristiques géométriques d'un UIC 60 E1	67
Tableau VII.1 : Liste des ouvrages d'art pour notre projet.....	78
Tableau VII.1 : Les signalisations d'arrêt.....	84
Tableau VII.2 : Les signalisations d'avertissement d'arrêt	85
Tableau VII.3 : Les signalisations de limitation des vitesses	86

LISTE DES FIGURES

Figure I .1 : Le transport ferroviaire.....	4
Figure I. 2 : Le plan du réseau ferroviaire national avant l'indépendance.....	7
Figure I. 2 : Le plan de futur du réseau ferroviaire national	9
Figure II.1 : Carte géographique du tronçon étudié.....	13
Figure II.2 : La ligne étude du Djelfa-Laghouat	15
Figure IV.1 : Eléments du tracé en plan.....	28
Figure IV.2 : Dévers théorique.....	30
Figure IV.3 : Raccordement de dévers.....	33
Figure IV.4 : Tracé en plan par Covadis.....	33
Figure IV.5 : Les éléments de profil en long	41
Figure IV.6 : Schéma du raccordement circulaire	41
Figure IV.7: Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF).....	42
Figure IV.8: Profil en long.....	46
Figure IV.9: Exemple profil en travers type	48
Figure IV.10 : Les éléments du profil en travers	49
Figure IV.11 : Profil en travers.....	50
Figure V.01 : Photos d'un ballast.....	50
Figure V.2 : Maquette de déférentes couches de l'assise ferroviaire.....	53
Figure V. 3 : Couches d'assise	56
Figure VI.1 : Les constituants de la voie.....	60
Figure VI.2 : Rail Vignole	62
Figure VI.3 : Rail à gorge.....	62
Figure VI .4 : Rail DC (double)	62
Figure VI.5 : L'écartement entre les rails	63
Figure VI. 6 : L'éclissage.....	64
Figure VI. 7 : Photo d'une barre soudée	65
Figure VI. 8 : Le rail UIC 60	67
Figure VI. 9 : La géométrie du rail UIC 60 E1	68
Figure VI .10 : Traverse en bois	69
Figure VI .11 : Traverse en Bi bloc	69
Figure VI .12 :Eléments du Traverse en béton bi-blocs	70
Figure VI .13 : Caractéristiques de la traverse en béton bi-bloc.....	70

Figure VI .14 : Traverse en Monobloc.....	70
Figure VI.15 : Traverse métalliques	71
Figure VI.16 : Attache de type Nabla.....	73
Figure VI.17 : Attache de type vossloh.....	73
Figure VI.18 : Les éléments d’une attache de type Nabla.....	73
Figure VII .1: Pont ferroviaire	76
Figure VII .2 : Une buse	77
Figure VII. 3 : Dalot sous remblai	78
Figure VII .1 : Exemple d’une signalisation lumineuse	81
Figure VII .2 : ETCS niveau 1	82
Figure VII .2 : ETCS niveau 2	83
Figure VII .3 : ETCS niveau 3	83

Remerciement

Toute notre gratitude, grâce et remerciement vont à ALLAH le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

*Nous exprimons notre gratitude à notre encadreur **Dr Mourad Hadjoudja** qui nous a guidé, et nous lui sommes très reconnaissants de nous avoir aidé, soutenue et encouragé pour aboutir à ce travail*

*Nous tenons à remercier sincèrement **Mr. Rachidi Nouari** en tant que Co-encadreur de mémoire, qu'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.*

*Nous remercions **Mr. Baadj Madani** pour tous les moyens et documents qu'il a mis à notre disposition afin de réussir ce travail*

*Nous remercions les membres de jury **Mr. Ziregue Ahmed, Mr. Bachiri Attia** qui nous ont fait l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*

*Nous adressons également notre profonde gratitude au personnel du **la subdivision** des Travaux publics daïra de Boualem.*

***Enfin**, nos pensées à tous ceux qui nous ont aidé pour la réalisation de ce modeste travail.*

Merci à tous

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Je tiens à dédier ce mémoire : A ma très chère Mère et à mon cher père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, eux qui ont consenti tant d'effort,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Merci d'être toujours là pour moi.

A mon binôme Haddi Laid

À tous mes amis et collègues

Spéciale dédicace à : Amine, Houssine, Abdelaziz, Ahmed, Fathi

A Tous ceux qui m'aiment et que j'aime Merci à tous.

Ahmed Mokhtari

Dédicaces

Tout d'abord je remercie الله de m'avoir donnée la force d'accomplir ce travail, que je dédie A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut-être dit, mes affections sans limite.

A mes très chers frères, A mes très chères sœurs et ma famille.

A Mon ami et binôme Ahmed et tout la famille Haddi.

A tous mes amis.

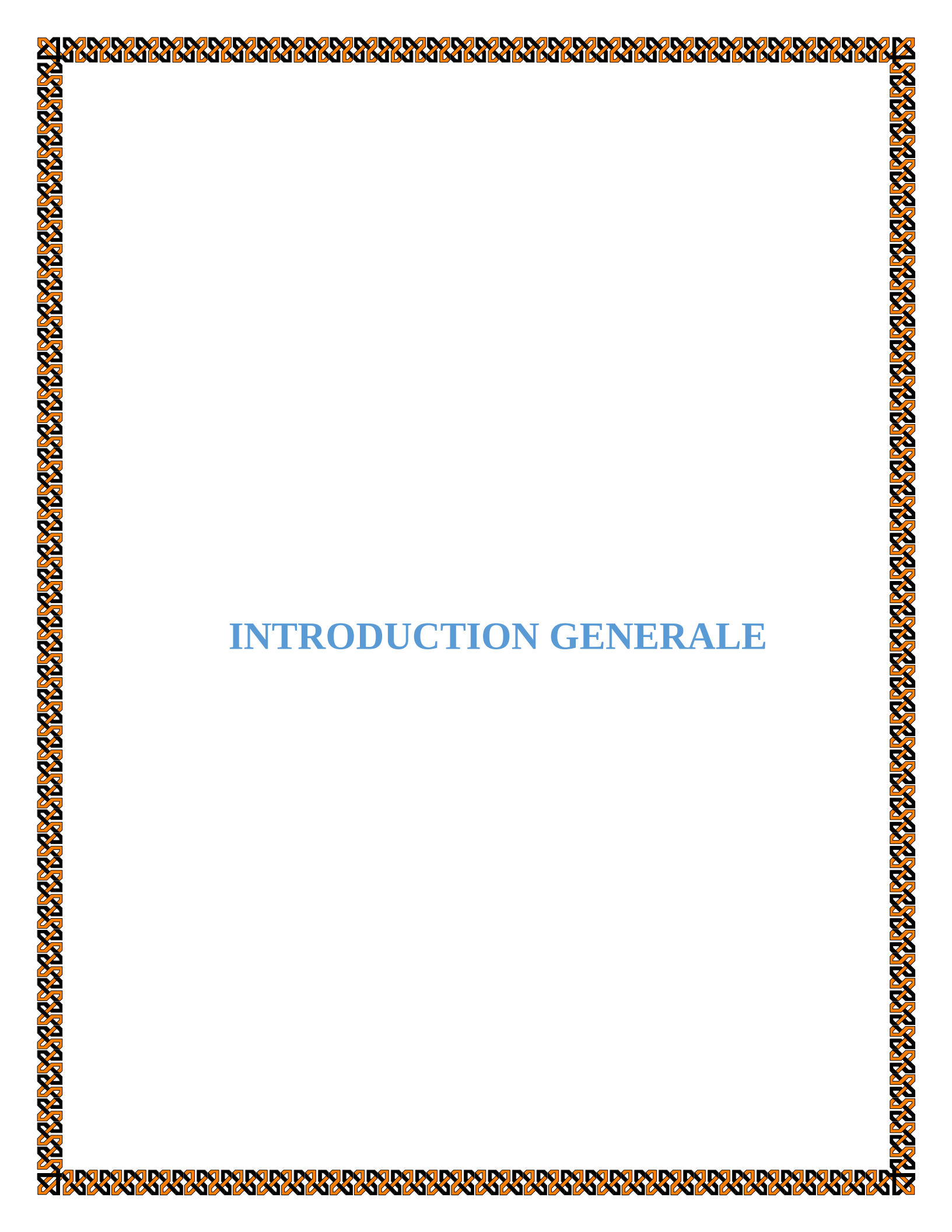
A Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Merci à tous.

Haddi Laid

LISTE DES ABREVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
V_l	Vitesse des trains lents (marchandises)	km/h
V_r	Vitesse des trains rapides (voyageurs)	km/h
A	Paramètre de la clothoïde	-
P	Poids	n
m	Masse	kg
g	Intensité de la pesanteur	n/kg
d_{th}	Devers théorique	mm
R	Rayon de courbe	m
V	Vitesse	km/h
d_p	Dévers pratique	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
V_{max}	Vitesse des trains de voyageur (maximale)	Km/h
E	Excès de dévers	mm
V_{min}	Vitesse des trains de marchandises (minimale)	Km/h
C	Coefficient de dévers	-
D_{min}	Devers de rayon minimal	m
D_{max}	Rayon de courbe maximal	m
L	Longueur du clothoïde	m
d/t	Variation de dévers en fonction du temps	-
I/t	Variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps	-
a	Accélération	m/s^2
T	Tangents	m
P_{stat}	La charge statique	t
P_{dyn}	La charge dynamique	t
M_{max}	Moment maximal	Kg.cm
M_{moy}	Moment moyen	Kg.cm
σ	Condition de résistance	Mpa
σ'	Condition de résistance admissible	Mpa
W_{xx}	Moment d'inertie	cm^4
W_L	Limite de liquidité	-
I_p	Indices de plasticité	-
I_c	Indices de consistance	-
W_s	Poids du sol sec	Kg
γ	Masse volumique	kN/m^3
W_n	Teneur en eau naturel	-
Q_{Si}	Classe du sol (UIC)	-
P_i	Classe de la plateforme	-
$< 80\mu m$	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur à $80\mu m$	-
$< 2mm$	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur à 2mm	-
LA	Coefficient Los Angeles	-
MDE	Coefficient micro-Deval	-
UIC	Union Internationale des Chemins de fer	-
SNTF	Société nationale des transports ferroviaires	-



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le transport ferroviaire est un système guidé qui sert à transporter les personnes et les marchandises. Il se compose d'une infrastructure spécialisée, de matériel roulant et de procédures d'exploitation. L'aptitude du transport ferroviaire est d'amoindrir l'encombrement des zones urbaines en faisant un moyen de choix pour satisfaire le prodigieux développement du domaine du transport et la croissance démographique des habitants qui ont privilégiés un pouvoir public énorme.

Ce dernier ne peut pas atteindre son objectif sans un développement harmonieux des infrastructures en fonction des ressources naturelles, humaines et les activités économiques. Le développement des infrastructures du transport ferroviaire est l'essentiel de toute politique d'aménagement du territoire.

Dans notre pays, les autorités ont décidé de mettre l'œil sur l'investissement dans les chemins de fer par programmer plusieurs plans pour construire des nouvelles lignes ferroviaires afin d'enchaîner les différentes régions du pays ainsi le renouvellement des anciens chemins.

Parmi ces programmes d'installation, on prend comme sujet ; le projet de construction d'une nouvelle ligne ferroviaire à voix unique qui relie la ville de LAGHOUAT avec celle de DJELFA à une distance globale d'environ cent-dix kilomètres (110 km).

Dans ce contexte, on s'intéresse à l'étude technique de la liaison ferroviaire reliant Djelfa à Laghouat sur le tronçon du Pk 67+000 au Pk 71+000 sur un linéaire de quatre kilomètres (4 km).

Pour mener à bien ce travail, le manuscrit a été structuré comme suit :

Le premier chapitre est consacré à l'historique des chemins de fer dans le monde et en Algérie, ensuite on a exprimé la prochaine planification des nouvelles lignes ferroviaires avec ses avantages.

Dans le second chapitre, nous avons présenté la willaya de Laghouat et les caractéristiques du projet.

Dans le troisième chapitre on a présenté une étude géologique et géotechnique et on a déterminé les caractéristiques de sol et des matériaux existants par des différents essais sur site appliquées dans la zone étudiée.

Dans le quatrième chapitre, nous intéressons à l'étude géométrique de la voie ferrée afin de faire un tracé économique pour ce tronçon qui est basé sur les trois profils : tracé en plan, profil en long et le profil en travers et le calcul des cubatures.

Dans le cinquième chapitre, on va dimensionner les différentes structures des couches d'assise.

Dans le sixième chapitre, nous avons présenté la superstructure de la voie ferrée qui comprend les rails, les traverses, les attaches ainsi que le dimensionnement des rails.

Dans le septième chapitre, on a parlé des différents ouvrages qui se trouvent dans le tronçon étudié (tunnels, ponts, ouvrage hydraulique).

Dans le huitième chapitre, nous avons présenté la signalisation ferroviaire.

Enfin, on a finalisé ce modeste travail par une conclusion générale dont on a présenté les résultats tirés de cette étude, ainsi l'intérêt de l'amélioration et le développement d'infrastructures dans le domaine des travaux publics.



CHAPITRE I

RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

I.1 . Introduction

Les chemins de fer sont des voies ferrées qui se composent d'une ou plusieurs rangées de rails dont l'espacement est maintenu par une fixation sur des travers reposant sur du ballast. La première voie ferrée a été établie au Royaume-Uni au début du XVIIe siècle, principalement pour le transport du charbon d'une mine à un canal, d'où il pouvait être chargé sur des barges. On trouve des traces de ce genre de chemins de fer à Broseley dans le Shropshire. Tout d'abord, nous présentons l'historique et le développement des chemins de fer dans le monde, puis en Algérie. Ensuite nous présentons une généralisation sur le développement du réseau ferroviaire national.



Figure I .01 : Le transport ferroviaire

I.2. Historique

I. 2 .1. Dans le monde

Le chemin de fer est né sur le carreau des mines pour transporter le charbon, depuis les puits d'extraction jusqu'à la voie d'eau, qu'elle soit fluviale ou maritime. Dès le XVIIe siècle, les mineurs utilisèrent en effet des barres de guidage en bois pour faire glisser les chariots, avant d'adopter par la suite des rails métalliques. La traction était généralement assurée par les chevaux, jusqu'à l'apparition de la première locomotive à vapeur, mise au point par l'ingénieur anglais Richard Trevithick en 1803, et testé avec succès dans le sud du pays de Galles. Cette découverte marqua le début de l'ère des chemins de fer. [1]

La première voie ferrée au monde fut construite en 1825 en Angleterre, entre Stockton et Darlington, près de Newcastle (Yorkshire). Cette ligne transportait exclusivement du charbon, tout comme celles qui furent construites à la même époque en Ecosse, Ainsi que dans le Lancashire. [1]

C'est dans cette dernière région que fut implantée la première véritable ligne de chemin de fer, entre Liverpool et Manchester (51 Km). Mise en service en 1803, cette ligne aurait non seulement le transport du charbon, mais celui des voyageurs.

A partir de 1840, le chemin de fer connut un développement remarquable les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer, comme l'Europe et les Etats-Unis. Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits entre 1830 et 1890.

En 1875, un demi-siècle après la naissance des premières voies ferrées, en comptait 129 000 Km de lignes au Etats-Unis et 123 000 Km en Europe occidentale. Quelques années plus tard en dénombrait 363 000 Km de voies ferrées dans le monde, dont 172 000 Km en Europe et 165 000 aux Etats-Unis. En 1950, ces dernières étaient desservies par 350 000 Km de lignes ferroviaires sur un total de 1,3 millions de Km.

Si les chemins de fer se sont implantés sur les cinq continents, leur répartition apparaît très inégale. De nombreux Etats, comme la plupart des pays africains, ne disposent que d'un petit nombre de voies ferrées, construite à l'époque coloniale, Comme le ça de L'Algérie dont les premières voies ferrées ont été établis pendant cette époque aux environs de 1863 et elles étaient toutes en écartement étroit (1055 m. [1])

I. 2 .2. En Algérie

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.

I. 2.2.1. Situation du réseau avant l'indépendance

Pendant la période coloniale, la création du réseau ferroviaire long de 5 014 km s'est faite en trois étapes principales :

- a) 1857-1878 : La concrétisation des projets de chemin de fer en Algérie, intervient le 8 avril 1857, par un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1 357 km de voies ferrées dans sa colonie d'Algérie. Le premier chantier débute le 12 décembre 1859, il porte sur la construction de la ligne d'Alger à Blida. Sa gestion est confiée à la société privée dénommée Compagnie des chemins de fer algériens. [2]

- b) Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes « d'intérêt général » avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant.
- c) Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau. Le 1er juillet 1921, les lignes existantes sont réparties entre les compagnies CFAE et PLMA : ce partage dura jusqu'au 30 mai 1938, date à laquelle les lignes d'intérêt général des deux compagnies sont nationalisées et rattachées à la Société nationale des chemins de fer français (SNCF). La gestion des lignes algériennes est alors confiée à compter du 1er janvier 1939 à l'Office des chemins de fer algériens (OCFA). Avec la fin de la Seconde Guerre mondiale, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5015 km.

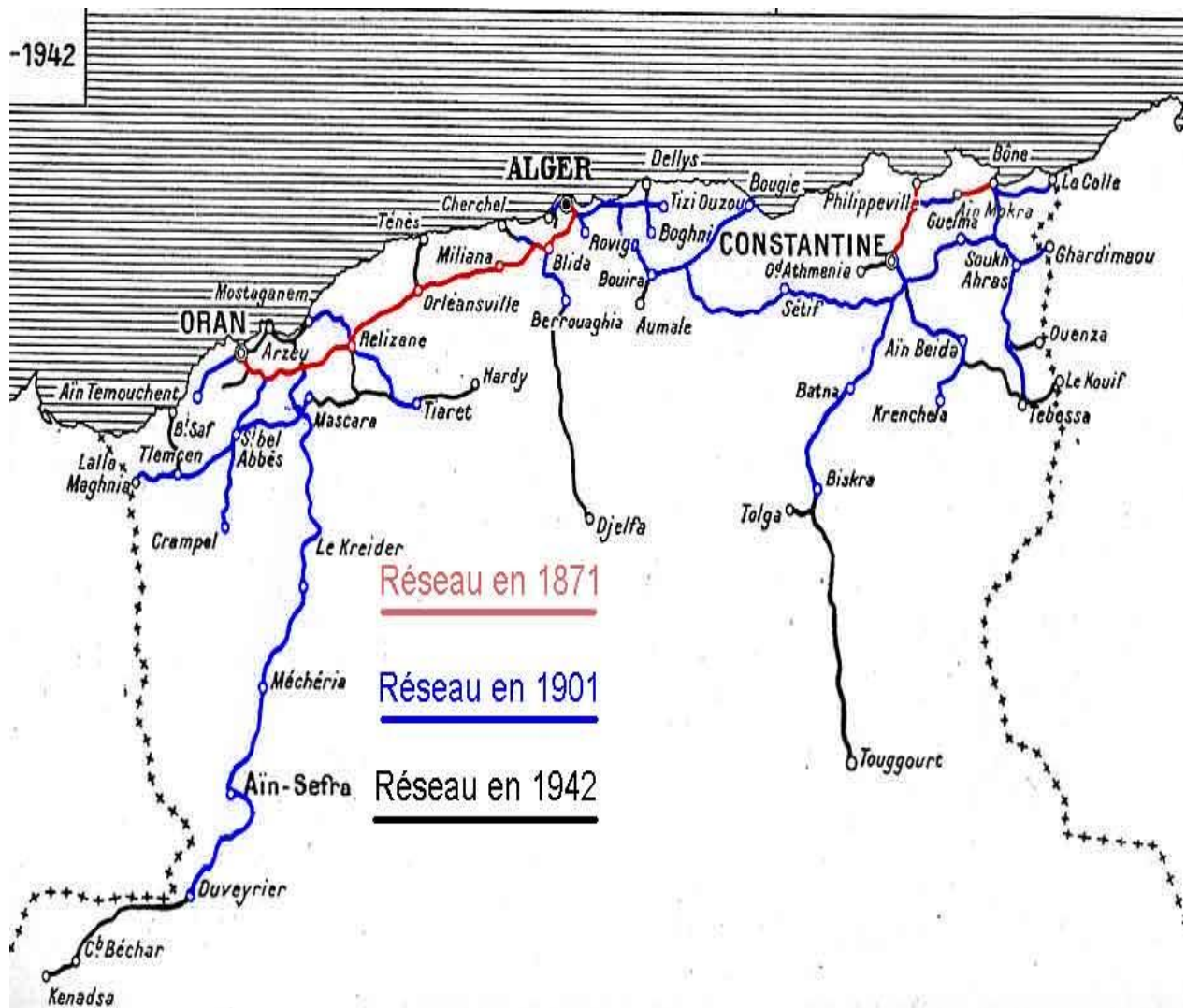


Figure I. 2 : Le plan du réseau ferroviaire national avant l'indépendance

I.2 .2.2. Après l'indépendance

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 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 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 GSM-R pour la première fois en Afrique, ce système de télécommunication vise à sécuriser les communications sur un réseau autonome entre le centre installé à Alger et les trains ainsi qu'entre les trains et les opérateurs chargés de l'entretien du réseau. [2]

I.2.2.3. Réseau ferroviaire national

En Algérie, Le rail marque une négligence regrettable et complètement oublié jusqu'aux années 80 où il a été un peu redynamisé avec la création de 303 km de lignes nouvelles et le renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km.

Après la crise sécuritaire algérienne, le rail a connu une période de stagnation et d'ignorance ce qui a détérioré l'état des infrastructures ferroviaires et du matériel roulant. A partir de l'an 2000, le réseau Algérien a connu l'électrification de 340 km et la réalisation de 500 km de lignes nouvelles.

Aujourd'hui, le secteur ferroviaire connaît une véritable relance, une importante enveloppe allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire, une nécessité absolue, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante.

La mise en service d'un réseau moderne aura pour effet de réduire les temps de parcours des trains, et de désenclaver un certain nombre de régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant.

Enfin, il s'agit de rénover l'ensemble des voies existantes, procéder à leur dédoublement, électrifier la rocade nord et acquérir de nouveaux équipements en matériel roulant, pour la signalisation ainsi que pour les télécommunications.

I.2.2.4. Les grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie

- Modernisation des lignes existante : 855 Km.
- Doublement de voie : 430 Km.
- Autre ligne : 1120 Km.
- Ligne des hauts plateaux : 600 Km.
- Boucle du sud : 800 Km.
- Autre ligne en cours de réalisation : 828 Km.
- Lignes projetées : 1400 Km.

I.2.2.5. Réseau de la rocade

La future ligne s'étendra sur 600 km et sera portée ensuite à environ un millier de Kilomètres,

Elle comprendra les lignes suivantes :

- Ain Touta (Aurès)-Moulay Slissen (Sidi Bel Abbès) en passant par M'Sila, Boughzoul,
- Tiaret et Saida.
- Electrification de la ligne Ain M'Lila -Tébessa et M'Sila Bordj Bou Arréridj.
- Electrification de la ligne Tiaret - Relizane et Saida - Mouhammadia.
- Création de la ligne M'SilaBoughzoul sur plus de 100 km.
- Création de la ligne Boughzoul - Tessemssilt - Tiaret - Saida, sur plus de 300 km.
- Création de la ligne Saida Moulay Slissen, sur 120 km.
- Création de la ligne Mecheria - El Bayadh, sur 170km.
- Création de la ligne Ain Beida - Khenchela, sur 50 km.
- De la ligne Djelfa - Laghouat, sur 150 km.
- Amélioration du tracé Bouchegouf - Drean - Tébessa, long de 100 km.
- Amélioration et rectification du tracé de ligne minière entre Ouenza Tuilerie et Tébessa.
- Rénovation de la ligne minière Annaba - Tébessa - Djebel Onk. [3]

Réseau Ferré National

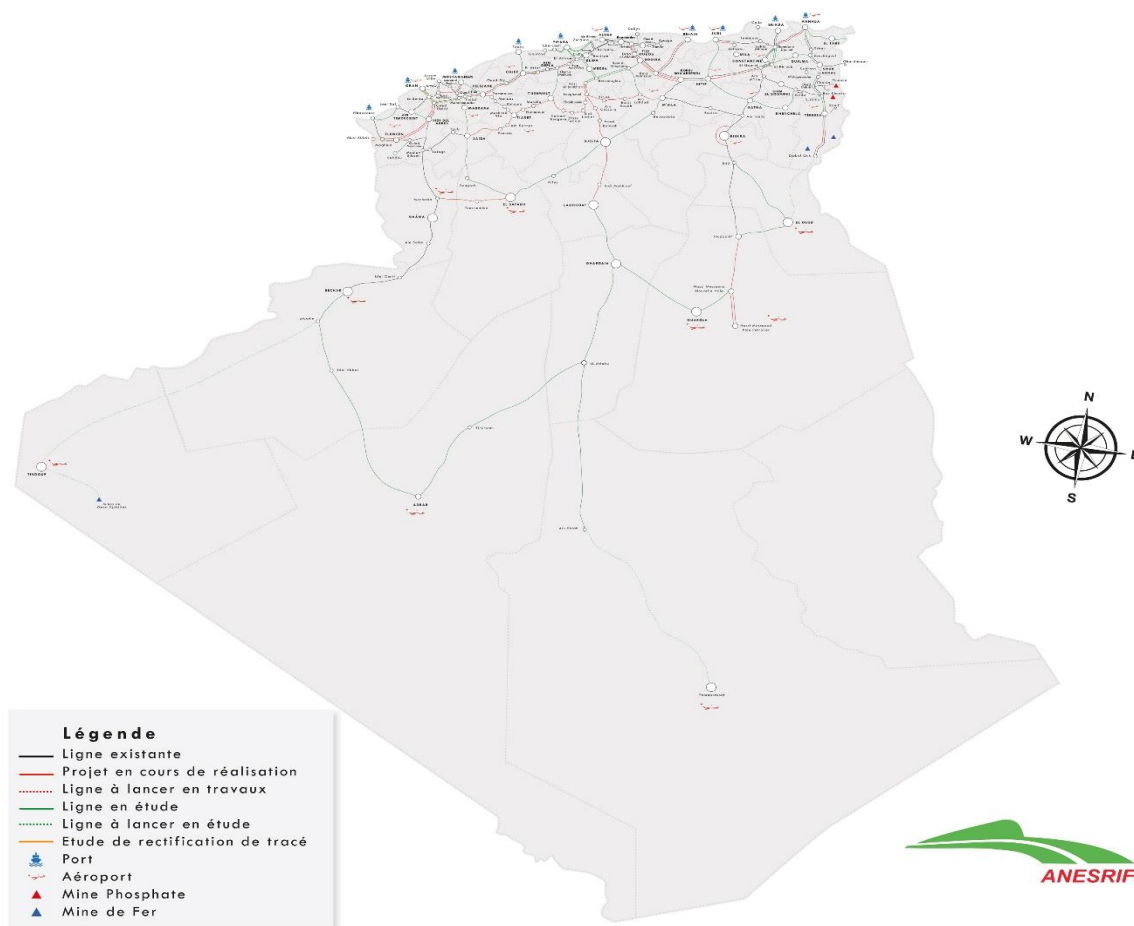


Figure I. 3: Le plan de futur du réseau ferroviaire national

I.3. Avantage des chemins de fer

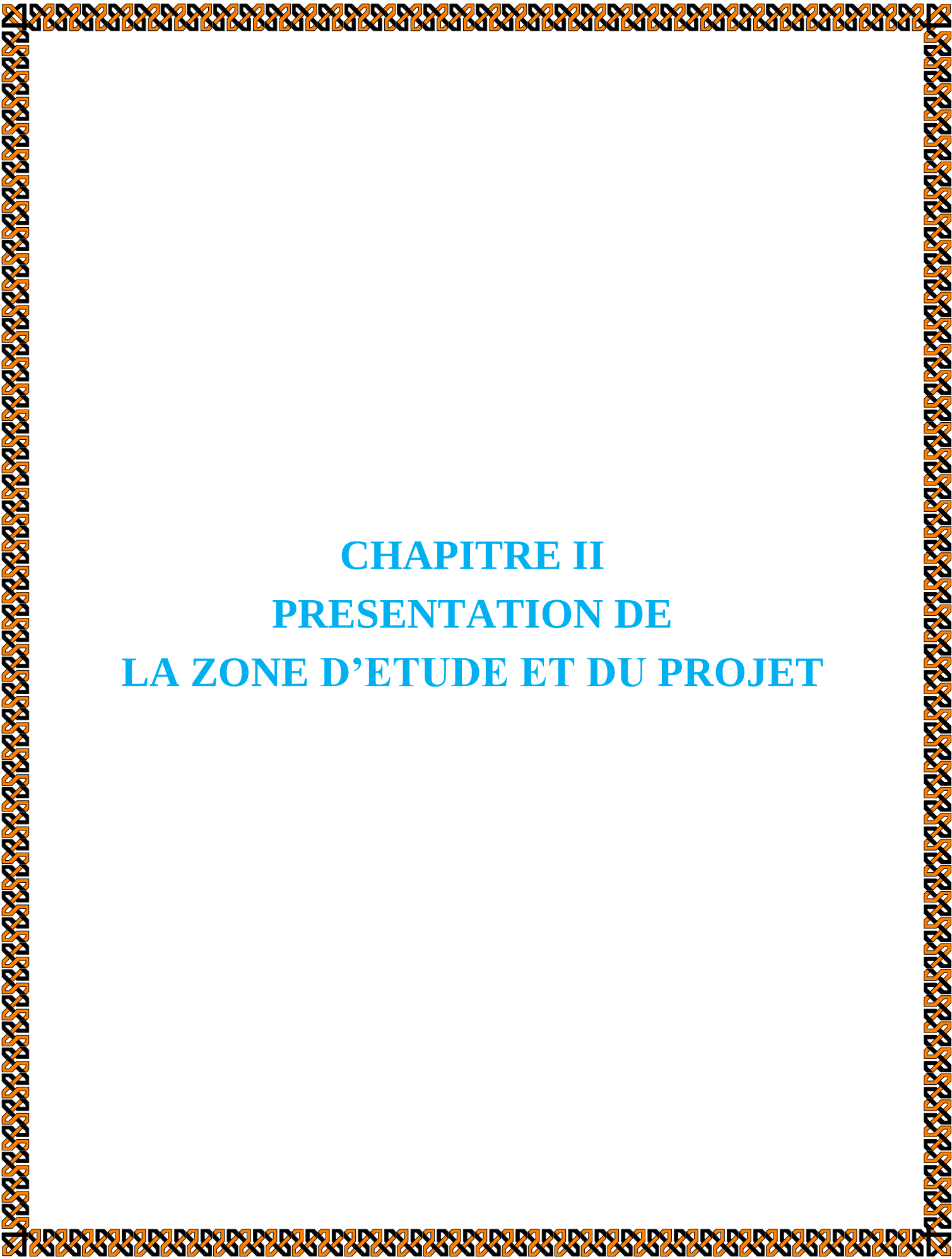
La répartition du trafic entre les différents modes de transport résulte des décisions prises par les usagers des transports, lesquelles dépendent des avantages que supposent les différentes solutions possibles, ainsi que l'investissement de l'état dans les chemins de fer est bien justifiable vue les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit :

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles)
- Il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.
- Le moins coûteux parmi tous les autres moyens de transport.
Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Il est not moins polluant.

Ces raisons expliquent la préférence des usagers de se déplacer par chemins de fer, ce qui a poussé les gouvernements à investir dans ce mode de transport qui représente dans nos jours un facteur important dans la mesure du développement d'un pays. D'autre part, sa consommation économique et sa préservation de la nature lui attribue le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle. [4]

I .4. Conclusion

Pour conclure, on peut dire que la politique de l'état algérienne est en retard concernant le développement des chemins de fer. Ce dernier est plus que nécessaire pour l'amélioration des conditions des investissements et du commerce et pour l'augmentation des échanges entre les différentes régions de notre pays. Afin de favoriser ce secteur, il intervient le projet de la rocade des hauts plateaux dans lequel on intègre notre étude qui permettra d'atteindre cet objectif et de le rendre efficace au niveau du développement économique du pays.



CHAPITRE II

PRESENTATION DE

LA ZONE D'ETUDE ET DU PROJET

II .1. Introduction

Le transport est un secteur clé pour le développement d'un territoire donné. En effet, dans une économie moderne, le transport joue un rôle prépondérant car, non seulement il facilite les échanges entre les agents économiques, mais également améliore la circulation des personnes et des biens, des idées et des services, ainsi que la solidification des liens d'amitié et de fraternité entre les citoyens.

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire d'Algérie, parmi lesquels la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat sur un linéaire de 110 km.

L'étude a pour objet de concevoir une ligne à voie unique afin de relier la ville de Djelfa à la ville de Laghouat, à une vitesse de 220km/h pour les trains de voyageurs, et une vitesse de 100km/h pour les trains de marchandises. Cette nouvelle ligne fait partie du projet de la boucle du sud (Djelfa / Laghouat / Ghardaïa / Ouargla / Nouvelle Ville de Hassi Messaoud / Touggourt / Biskra), dans le cadre du développement ferroviaire de la zone sud de l'Algérie.

II. 2. Généralités sur la wilaya de Laghouat

II.2.1. Situation géographique

La wilaya de Laghouat est située au sud centre du pays 400 km, La wilaya s'étend sur une superficie de 25052 km². Elle est limitée géographiquement comme suit :

- La wilaya de Tiaret au nord
- La wilaya de Djelfa à l'Est
- La wilaya de Tiaret et d'El Bayadh à l'Ouest
- La wilaya de Ghardaïa au Sud

II. 2.2. Situation démographique

La Wilaya comptait une population estimée à 603 876 habitants 2014. Soit une densité de 24 habitants par Km².

II. 2.3. Climat

Le climat est continental aride avec des moyennes de 8 °C l'hiver et de plus de 40 °C l'été.

II .2.4. Les reliefs

La wilaya se distingue par deux zones distinctes :

- 1- La zone de l'Atlas saharien est caractérisée par des altitudes allant de 1 000 m à 1 700 m et des pentes de 12,5 à 25 %. Cette zone au nord-ouest de la wilaya (régions d'Aflou et Brida). Elle est

constituée de vieux massifs forestiers d'une superficie de 47 095 ha, de nappes alfatières couvrant une superficie de 315 125 ha ainsi que de pacages et parcours d'une superficie de 1 531 766 ha. La population ayant un âge inférieur à 15 ans représente 34 % du total de la population.

2- La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux sahariens, caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1 000 m et des pentes de 0 à 3 %.

Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques d'une superficie de 1 900 000 ha dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées.

II.2.5 Infrastructures de base

II. 2.5.1 Infrastructure aéroportuaire

Dans la wilaya de Laghouat il existe deux aéroports : un à Laghouat et l'autre à Hassi R'mel. [5]

II .3. Présentation du tronçon étudié

Notre projet intitulé « Étude de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique entre Djelfa-Laghouat du PK 67 au PK 71 » s'intègre dans le cadre de la nouvelle raccorde ferroviaire de ce plan d'aménagement. Cette nouvelle ligne fait partie du projet de la boucle du sud (Djelfa / Laghouat / Ghardaïa / Ouargla / Nouvelle Ville de Hassi Messaoud / Touggourt / Biskra) dans le cadre du développement ferroviaire de la zone sud de l'Algérie.

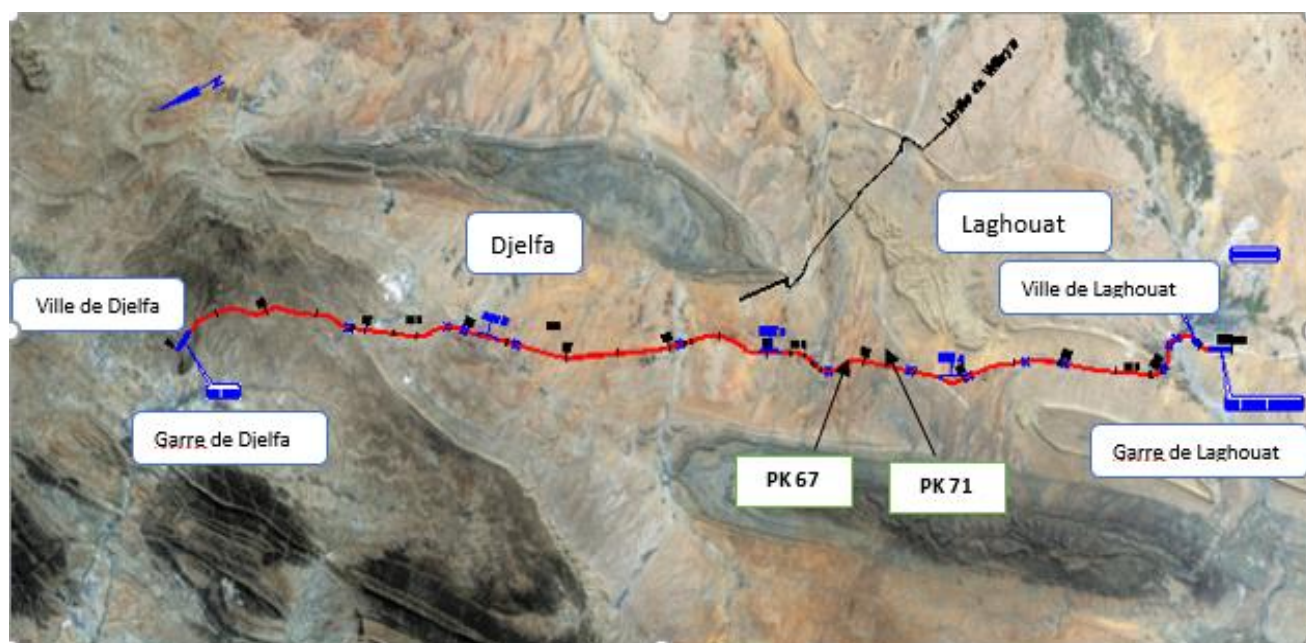


Figure II.1 : Carte géographique du tronçon étudié

II. 3.1 Objectif du projet

- Il a pour objectif de relier la ville de Laghouat au reste du réseau ferroviaire et faciliter les échanges entre les différentes régions,
- Booster le développement économique.

II.3.2 Caractéristiques du projet

Cette ligne nouvelle à une longueur totale de 110 km dont les caractéristiques techniques principales sont les suivantes :

- Ligne à voie unique ,
- Mode Traction : diesel et électrification,
- Trafic mixte voyageurs et marchandises,
- Charges à l'essieu de 22 ,5 T pour la voie, et de 25T pour les ouvrages d'art,
- Ecartement de la voie : 1,435 m,
- Vitesses :
 - Vitesses max des trains voyageurs : 220 km/h.
 - Vitesses max des trains marchandise : 110 km/h. [6]

II.3.3. Les normes appliquées

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

- L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC),
- Société nationale des transports ferroviaires (SNTF),

II.3.4. Description du projet

La ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat s'étale sur un linéaire de 110 km, avec une vitesse maximale de 220 km/h pour les trains de voyageurs et 100 km/h pour les trains de marchandises.

La plateforme du projet est projetée à voie unique et les ouvrages d'art en deux voies afin de permettre le dédoublement et l'électrification futurs de la ligne.

Il est prévu la réalisation d'une gare mixte (voyageurs / marchandises) au Sud-Est de la ville de Djelfa, à proximité du nouveau contournement routier de la ville, de deux gares à Laghouat, une pour les voyageurs et l'autre pour les marchandises ainsi qu'une halte pour desservir la localité de Sidi Makhlouf. Le raccordement de cette ligne avec la ligne Boumedfaa / Ain Oussera / Djelfa s'effectuera au niveau de la gare de Djelfa.

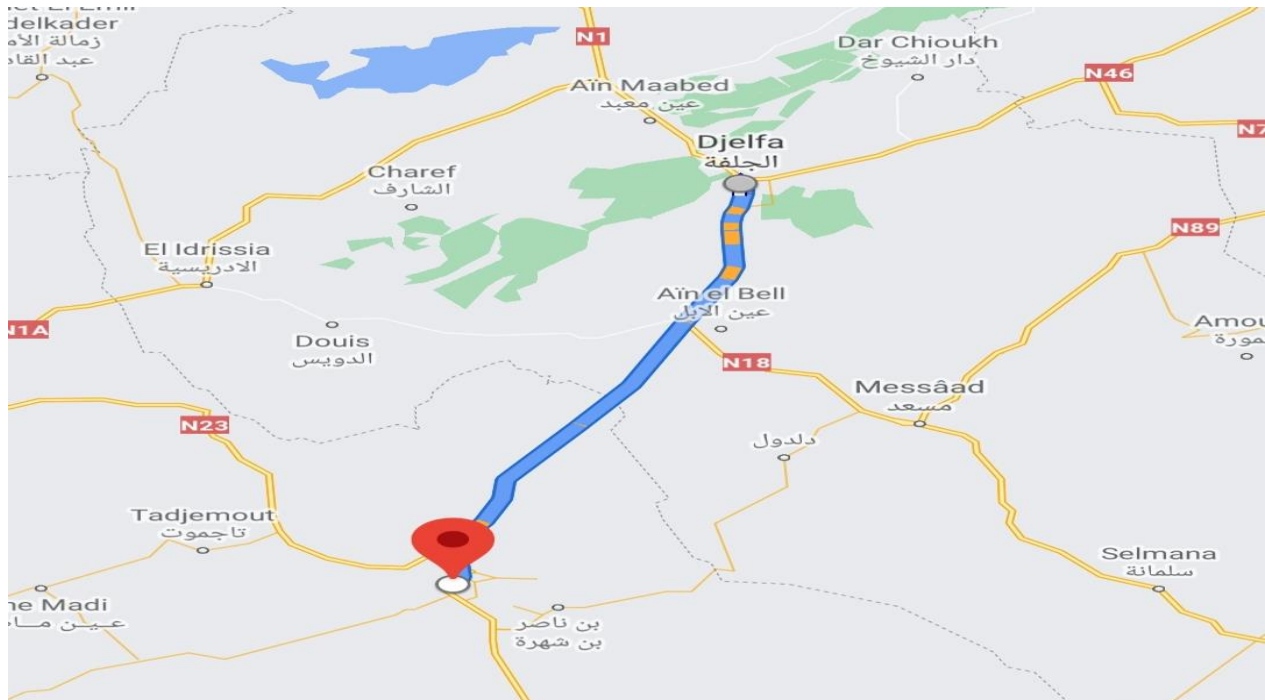


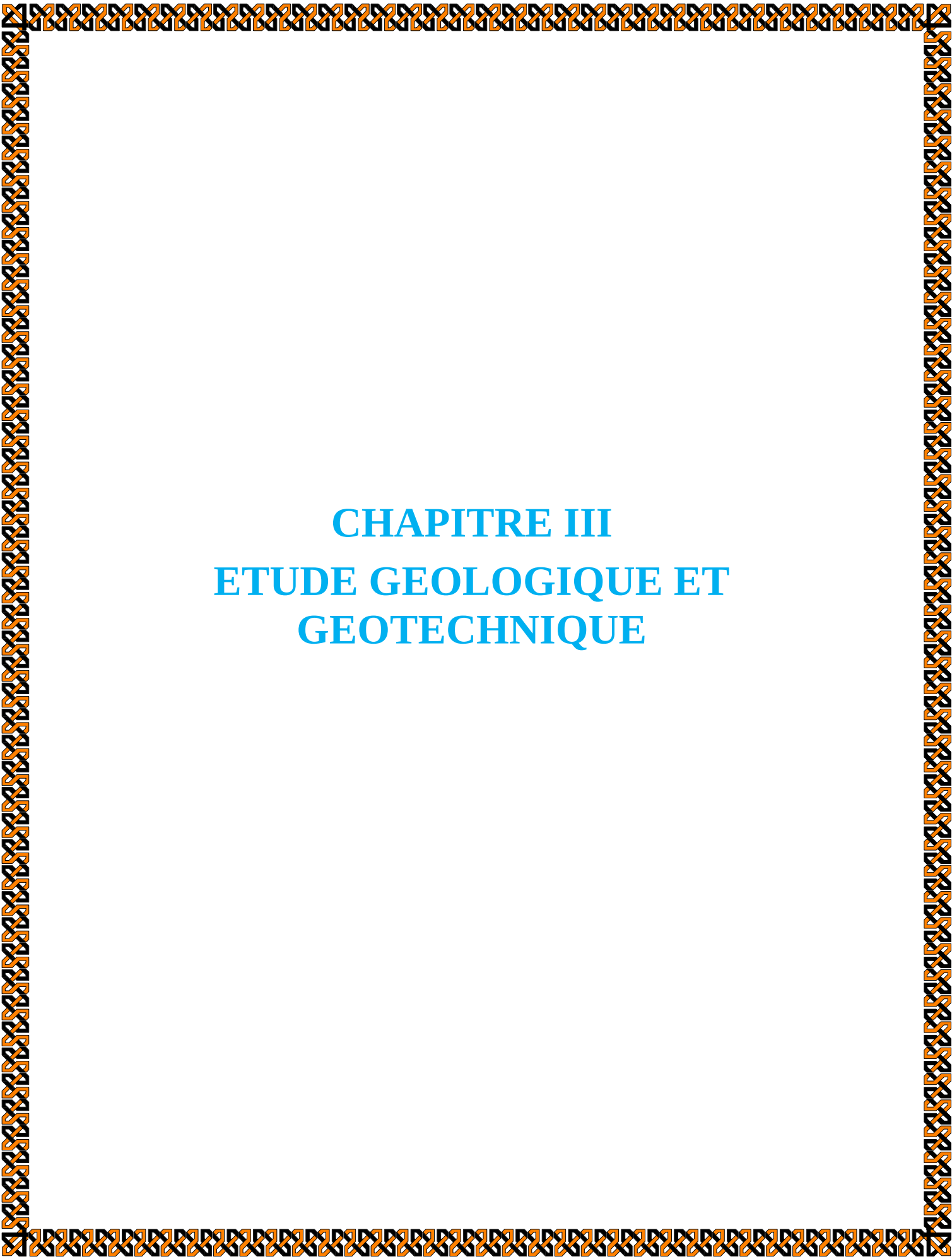
Figure II.2 : La ligne étudiée du Djelfa-Laghouat

II. 4. Conclusion

La réalisation des lignes ferroviaires entre les grandes villes est un facteur qui influe directement sur le développement économique du pays.

En Algérie, malheureusement, le secteur du transport ferroviaire a été négligé au profit du secteur du bâtiment, de la route et des aéroports.

Le pays consent actuellement un grand investissement pour la relance de ce secteur, ceci va permettre l'émancipation de nombreuse région qui va sortir en même temps de leur isolement géographique.



CHAPITRE III

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

III .1. Introduction

La conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages complexes (ouvrages d'art, routes, voies ferrées, etc.) nécessitent une connaissance fine du sol, de sa nature et de son comportement. Et cela en définissant les caractéristiques précises du terrain, en mesurant les déformations et les résistances.

L'étude géotechnique se base essentiellement sur la description géomorphologique et lithologique, l'interprétation des mouvements gravitaires, l'estimation des tassements et enfin le dimensionnement des assises.

III .2. Géologie

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

La zone du projet peut être naturellement stable mais elle peut également présenter certaines caractères d'instabilité tels que les mouvements de versants (éboulis rocheux, délitage de zones schisteuses, glissement marneux, coulées boueuses,...etc.), affaissement ou effondrement (cavités naturelles, fontis, poches de dissolution, cavités artificielles, carrière marnières,...etc.).

Le géologue doit donc faire en premier lieu un recensement complet de toutes ces zones en examinant les cartes et les photos du site.

III.2.1. Cadre géomorphologique

Le projet de la ligne nouvelle Djelfa-Laghouat se situe dans la région Sud de l'Atlas Saharien et à la limite Nord du grand erg occidental.

Le tracé se situant sur l'axe Djelfa – Laghouat, débute par le contournement de la ville de Djelfa. Il se poursuit en longeant la route nationale RN-01 sur le reste du parcours, constituant la plus grande partie de la voie.

Du PK 67+000 au PK 71 + 000 : Cette zone est sensiblement identique à la précédente. Elle est limitée au Nord par oued EL-MEGTAA et au Sud par oued METLILI. C'est une vaste plaine gréseuse, souvent marquée par des dépressions formant des cuvettes et favorisant la formation de bassins sans exutoires, où s'accumulent et stagnent les eaux pluviales.

Le relief de cette zone n'est marqué que par l'émergence de petites montagnes parsemées en îlots aux alentours du PK 80 + 000 dont le site dit rocher des pigeons.

Après cette zone, s'ensuit une série de vallonnements, que le tracé franchit passant tantôt en fonds de vallées formant de larges cuvettes et tantôt en crêtes ayant une faible dénivelée, alignées en bandes parallèles, et transversales à la voie.

III. 2.2. Contexte géologique local

La campagne d'investigation géotechnique réalisée in-situ en phase d'avant-projet sommaire (APS), a permis l'identification des différentes formations géologiques existantes sur le tracé. Elle a permis aussi de déterminer la structure des sols en profondeur, ainsi que l'épaisseur des différentes couches géologiques rencontrées.

Du PK 67+000 au PK 71+000 : Cette section représente la majeure partie du tracé. Le projet s'y développe dans des formations rocheuses du Crétacé inférieur (Albien / Barrémien), constituées par une alternance de couches de grès rougeâtre et d'argilites. Ces grès se présentent soit en affleurement, soit recouvertes en surface par une couche meuble de 0,30 m à 6,00 m d'épaisseur. Cette couche de recouvrement est constituée généralement soit par des encroûtements calcaires, soit par des argiles limoneuses ou par des sables éoliens.

III.2.3. Cadre sismique

D'après le règlement parasismique algérien (RPA 99 / version 2003), les deux wilayas de Djelfa et de Laghouat sont classées comme zone à sismicité faible « Zone I » ; classe correspondant donc à l'ensemble du tracé.

Les coefficients d'accélération (A) à prendre en considération dans le calcul des ouvrages dépendront du type de l'ouvrage (groupe d'usage) et de la sismicité de la zone, comme suit :

Tableau III- 1: Classe des zones sismiques :

	ZONE			
Groupe	I	IIa	IIb	III
1A	0,15	0,25	0,3	0,4
1B	0,12	0,2	0,25	0,3
2	0,1	0,15	0,2	0,25
3	0,07	0,1	0,14	0,18

III.3 .Géotechnique

Pour La conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages (voies ferrées, etc.) La nature du sol doit être déterminée par une étude géotechnique, les caractéristiques précises du terrain, en mesurant les déformations, les résistances, caractériser la nature des terres.

III.3.1. Le programme d'investigation géotechnique

Exécuté en phase d'avant-projet sommaire (APS), a consisté en la réalisation des travaux suivants :

- Plus de 30 forages, avec prélèvement d'échantillons intacts et remaniés, soumis à divers essais de laboratoire, et la réalisation des essais SPT ;
- Puits d'exploration avec prélèvement d'échantillons remaniés soumis à divers essais de laboratoire ;
 - Les essais de pénétration dynamique poussés jusqu'au refus ;
 - Sondages pressiométriques ;
 - Repérage des zones d'emprunt et carrières

III .3.2. Essais in situ

III .3.2. 1. Essais SPT

Les essais SPT effectués permettent de connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents traversés moyennant les tableaux et abaques extraits des normes et méthodes admises.

III.3 .2.2. Essais de pénétromètre dynamique

Les essais au pénétromètre dynamique ont permis de connaître la résistance des terrains de surface à partir de la résistance de pointe. Les résultats des essais de pénétration dynamique sur ces terrains formés essentiellement d'encroûtements, ont abouti à des refus obtenus à de faibles profondeurs.

III.3 .2. 3. Puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 à 4m, ou aller jusqu'à la profondeur limite du bras mécanique de la rétro-chargeur, leur implantation sera faite à l'emplacement des ouvrages de drainage et des zones de déblais et de remblai. Cet essai devra permettre de :

- La vérification la nature des matériaux d'excavation et leurs conditions de réutilisation dans les remblais.
- L'identification géo-mécanique afin d'examiner la portance des terrains et de préciser les types des fondations.
- La reconnaissance surtout de la qualité des matériaux d'assise au niveau des plateformes

III .3 .2. 4. Piézométrie

Tous les sondages réalisés dans le tronçon en examen ont été équipés avec des piézomètres.

Les lectures du niveau de la nappe dans les piézomètres placés en ce trait ont été réalisées seulement partialement.

III .3 .3. Essais de laboratoire

Des échantillons prélevés lors de l'exécution des puits et des forages de reconnaissance, ont été soumis aux essais d'identifications physiques et essais mécaniques suivant :

III. 3.3.1. Essais physiques :

- **Le poids volumique du sol sec « γ_d » :** $\gamma_d = \frac{W_s}{v}$
- **Degré de saturation S_r :** $S_r = \frac{V_w}{V_v} * 100$
- **Teneur en eau (normes N F P 94-050):** $W = \frac{W_w}{W_s} * 100$

III.3 .3. 2. Essais d'identification

- **Granulométrie par tamisage**

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 μ m) Qui permet par exemple de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines) ; c'est un essai qui a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

- **Limites d'Atterberg**

L'analyse granulométrique par sédimentométrie s'adresse à des échantillons de sols ne contenant que des éléments de diamètre inférieur à 100 μ m, c'est-à-dire ce qui est désigné sous l'appellation de sols fins.

Elle complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 0,063 mm Elle permet de tracer la courbe granulométrique des éléments fins jusqu'à un diamètre d'environ 2 μ m.

- **Analyse sédiment métrique**

Limite de plasticité (**WP**) et limite de liquidité (**WL**), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol :

WP sépare l'état solide de l'état plastique et **WL** sépare l'état plastique de l'état liquide ; les sols qui présentent des limites d'Atterberg voisines, c'est à dire qui ont une faible valeur de l'indice de plasticité ($IP = WL - WP$), sont donc très sensibles à une Faible variation de leur teneur en eau.

III.3 .3. 3. Essais mécaniques

- **Essai Proctor**

L'essai Proctor est un essai routier, il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue et appelée « optimum PROCTOR ».

- **Essai de cisaillement à la boîte de Casa grande**

Les essais de résistance au cisaillement permettent de déterminer la résistance au cisaillement des sols caractérisés par la cohésion « C » et l'angle de frottement « ϕ ».

- **Essais CBR**

Les essais CBR permettent, selon le processus utilisé, la détermination des indices CBR immédiat et imbibé d'un sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des couches d'assises.

Cet essai donne une évaluation sur la portance du sol, c'est-à-dire de l'aptitude des matériaux à supporter les charges.

L'indice recherché est un nombre sans dimension exprimant le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part et dans le matériau type d'autre part.

❖ Les résultats des essais

Caractéristiques géotechniques de l'unité 2 (Limon et Limon sableux) :

Tableau III- 2 : Caractéristiques géotechniques de Limon

	Valeur Min	Valeur Max	Valeur moyenne
Teneur en eau W (%)	9,10	11,60	-
Poids volumique humide γ_h (KN/ m^3)	21,90	20,20	-
Poids volumique sec γ_d (KN/ m^3)	19,50	16,40	-
Degré de saturation S_r (%)	88,00	97,00	-
Passant au tamis (%) < 2 mm	77,00	95,00	94,00
Passant au tamis (%) < 80 μm	24,00	62,00	43,00
Limites de liquidité WL (%)	24,70	19,90	21,20
Indice de plasticité IP (%)	6,54	11,66	9,90
PH	-	-	8,64
Sulfates (%)	-	-	Traces
Chlorures (%)	-	-	0,50
CaCo3 (%)	-	-	28,10

Caractéristiques géotechniques de l'unité 5 (Grés)

Tableau III -3: Caractéristiques géotechniques de l'unité 5 (Grés)

	Valeur Min	Valeur Max	Valeur moyenne
Poids volumique sec γ_d (KN/m ³)	19,00	21,00	20,00
Rc (Kg/cm ²)	126,82	425,76	310,20

III .4. Interprétation des résultats

III . 4.1. Caractéristiques géotechniques de l'unité 2 (Limon et Limon sableux)

III.4.1.1 Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques et sédiment métriques réalisées sur les échantillons testés montrent un pourcentage de passants à 80 μ m faible à moyen variant entre 24 % et 62 % avec une moyenne de 43 %. Les passants à 2mm varient entre 77 % et 95 % avec une moyenne de 94%. Les résultats montrent un sol moyen à grossier peu graveleux à prédominance de limons.

III . 4.1.2. Plasticité

Les résultats des limites d'Atterberg de la fraction limoneuse ont donné des indices de plasticité « Ip » variant entre 6,54% et 11,66% avec une moyenne de 9,9%. Les limites de liquidité varient entre 19,9 % et 24%, avec une moyenne de 21,2%. Les résultats indiquent que la fraction fine du sol est peu plastique.

III .4.1.3 Densité

La densité sèche obtenue varie entre 16,40 KN/m³ à 19,50 KN/m³, traduisant un état dense du sol.

III .4.1.4 Teneur en eau et saturation

La valeur moyenne de la teneur en eau (ω) est de 10 %. Quant au degré de saturation (Sr), sa valeur varie entre 88 % et 97%. Les résultats montrent un sol non saturé.

III . 4.2 Caractéristiques géotechniques de l'unité 5 (Grès)

III .4.2.1 Densité

La densité sèche varie de 19,0 à 21,0 kN/m³

III .4.2.2 Résistance à la compression simple

Les essais de compression simple sur les échantillons de roche (grès) ont donné des valeurs très dispersées variant entre 126,82 Kg/cm² et 425,76 Kg/cm², avec une moyenne de 310,20 Kg/cm².
[7]

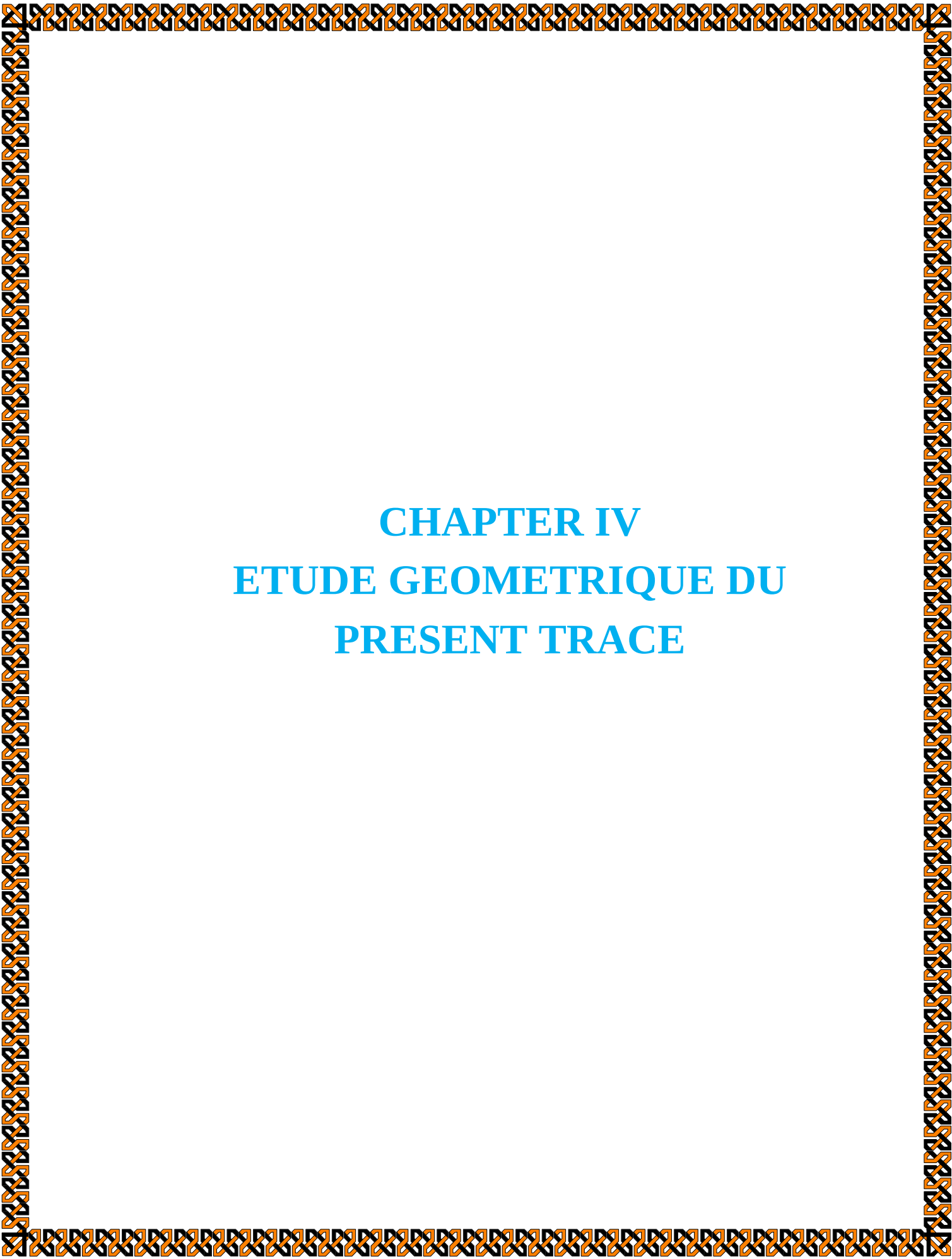
III.5. Conclusion

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on a conclu deux choses très importantes sont les suivantes :

Le sol support est classé en QS2 classe de moyenne portance selon la norme UIC 719R

La zone est classé comme une zone faible sismicité (zone 1) Selon RPA 99/version 2003

.



CHAPTER IV

ETUDE GEOMETRIQUE DU PRESENT TRACE

IV. 1. Tracé en plan

IV. 1.1. Introduction

Un tracé en plan est la projection horizontale d'une voie ferrée sur le plan horizontal. Il se compose de la succession d'alignements droits et de courbes horizontales (circulaires et clothoïdes).

Ce projet est caractérisé par deux vitesses :

V_v : vitesse des trains de voyageurs (vitesse rapide)

V_m : vitesse des trains de marchandises (vitesse lents)

IV.1.2. Règles à respecter pour le choix du tracé en plan (Solon UIC)

- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants,
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et autres terrains particuliers,
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques,
- Eviter les sites posant des problèmes géologiques,
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements,
- Eviter les terrains très plastiques,
- Eviter les problèmes de talus,

-Talus en déblai : éviter :

- Présence de nappe,
- Terrains plastiques,
- Présence de roches fissurées.

-Talus en remblai : éviter :

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

IV. 1.3. Eléments de tracé en plan

Le tracé en plan des voies ferroviaires est constitué de trois éléments comme indique sur la figure suivante :

- Des alignements droits,

- Des arcs de cercle,
- Des lignes à courbure progressive (clothoïdes). [4]

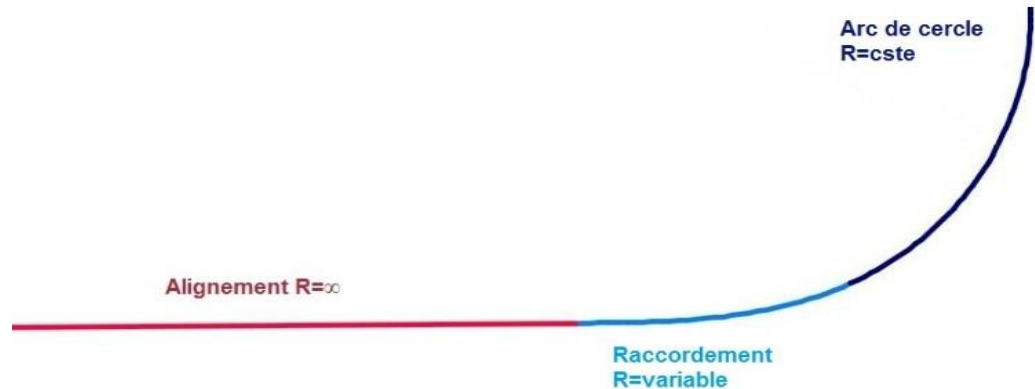


Figure IV.1: Eléments du tracé en plan

IV. 1.3.1. L'alignement ($R=\infty$)

La conception d'une voie ferrée avec plus de longs alignements offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet.

IV. 1.3.2. L'arc de cercle ($R=\text{constante}$)

Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires. La valeur du rayon de raccordement est en fonction de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse V_v de ne pas déraper.

Le rayon minimal autorisé est calculé suivant la formule suivante (UIC 703) :

$$R_{min} = \frac{11.8 \ V_v^2}{d_{min} + I_{max}} \dots\dots\dots (IV.1)$$

V_v : Vitesse des trains les plus rapides

d_{min} : Dévers minimal ; I_{max} : Insuffisance de dévers maximum.

IV. 1.3.3. La courbe de raccordement

Le raccordement entre l'alignement droit et le cercle de raccordement être fait avec des courbe de raccordement progressives.

La courbe de raccordement la plus utilisée est la clothoïde dont la courbe est proportionnelle à l'abscisse curviligne ; dont sa nomination comme courbe curviligne. [1]

IV. 1 .4. Le Dévers

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. C'est le dévers souhaitable qui sert à annuler la force latérale, de répartir la résultante uniformément dans le plan des rails.

Considérons un véhicule qui circule avec une vitesse uniforme V dans une courbe circulaire de rayon R un élément matériel de masse m est donc soumis en plus de son poids à la force centrifuge. Cette force vaut : $F = ma, F = v^2 R$

Le poids du véhicule est donné par la relation : $p = mg$

Avec :

- a : accélération centrifuge.
- g : accélération verticale due à la pesanteur
- f : la force centrifuge en newton (N)
- v : vitesse en m/s

IV. 1.4.1. Dévers théorique

Considérons un train circulant à une vitesse constante « V » dans une courbe circulaire de rayon « R ». Le devers théorique appelé également « dévers d'équilibre » noté « d_{th} » ou « d_v » est donné par :

Pour un écartement de voie : $2e = 1,435m$

$$d_{th} = d_v = \frac{11.8}{R} V^2 \dots\dots\dots (IV. 2)$$

d_{th} : exprimé en mm ;

V : exprimé en km/h ;

R : exprimé en m.

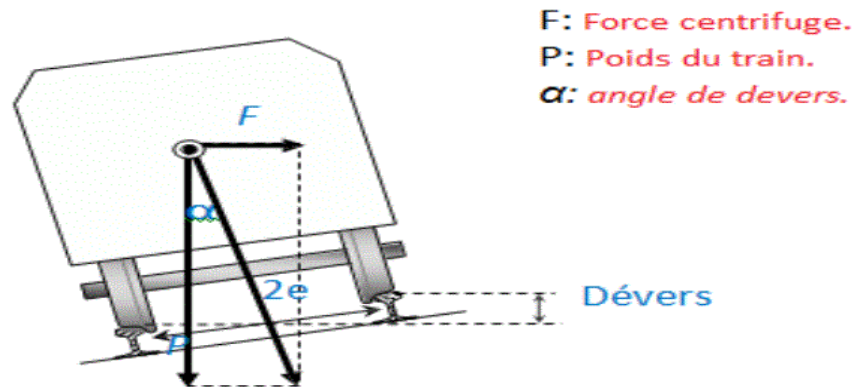


Figure IV.2: Dévers théorique

IV. 1 .4.2. Dévers prescrit (dévers pratique)

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique.

La formule du dévers pratique est :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} [\text{mm}] \dots\dots\dots (\text{IV. 3})$$

C : coefficient du dévers.

Tableau IV.1: Tableau des valeurs limites du dévers pratique (SNTF)

Valeur normale	160mm
Valeur exceptionnelle	180mm

IV. 1.4.3. Coefficient de dévers

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

$$C = \frac{R_{\min} D_{\min}}{100} \dots\dots\dots (\text{IV. 4})$$

A la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de dévers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort.

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$C = 0.006 V^2 \dots\dots\dots (\text{IV. 5})$$

IV. 1.4.4. L'insuffisance de dévers

L'insuffisance de dévers noté « I » est la différence entre le dévers théorique « d_{th} » et le dévers pratique « d_p ».

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe.

$$I = \frac{118 V_{min}^2}{R} - d_p \dots \dots \dots (IV.6)$$

Avec v_{max} : Vitesse des trains de voyageurs (manimale) (km/h).

R : rayon courbe de (m).

Tableau IV.2: Tableau des valeurs limites l'insuffisance de dévers

Valeur limite normale	120mm
Valeur limite exceptionnelle	160mm

IV. 1.4.5 . L'excès de dévers

Lorsque la vitesse d'un train en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal.

$$E = d_p = \frac{11.8 V_{min}^2}{R} \text{ [mm]} \dots \dots \dots (IV.7)$$

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes.

v_{min} : Vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

R: rayon courbe de (m)

Tableau IV.3: Tableau des valeurs limites de l'excès du dévers

Valeur limite normale	110 mm
Valeur limite exceptionnelle	130 mm

IV. 1.5. Longueur minimal des éléments de tracé

Afin de faciliter le roulement et adoucir le roulis des wagons de train, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments du tracé.

Longueur : exprimée en (m)

Vitesse : exprimée en (Km/h)

Tableau IV.4 : Longueur minimale à respecter (source fiche SNTF Géométrie)

Valeur limite normale	$\frac{V_v}{2}$
Valeur limite exceptionnelle	$\frac{V_v}{3}$

IV.1 .6. Rayon minimum de l'alignement circulaire

Le rayon minimum admissible est limitée en en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants. Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

Remarque :

Le rayon minimum de la courbe devra être déterminé comme suit :

- Pour la vitesse minimale de circulation des trains (trains lents), l'excès de dévers (E) devra être inférieur à la valeur maximum admissible.
- Pour la vitesse maximale de circulation des trains (trains rapides), l'insuffisance de dévers (I) devra être inférieure à la valeur maximale admissible.

Donc le rayon minimum doit se traduire par l'équation suivante :

$$\frac{11.8 V_{\min}^2}{D_{\max} - E} \geq R_{\min} \geq \frac{11.8 V_{\max}^2}{D_{\max} + I} \dots\dots\dots (IV.8)$$

$D_{\max}$: Rayon de courbe (m).

V_{max} : vitesse maximum des trains voyageurs (km/h)

V_{min} : vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

I : Valeur admissible d'insuffisance de dévers ; E : Excès de dévers (mm)

IV .1.7. Raccordement de dévers

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive. Cette progression se fait sur une longueur appelée « rampe de dévers ». La variation de dévers par unité de longueur est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie, cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur. [4]

La longueur de la rampe de dévers est donnée par :

$$\frac{d_d}{d_t} = \frac{d_v \times V_{max}}{3,6 \times L} \dots \dots \dots (IV.9)$$

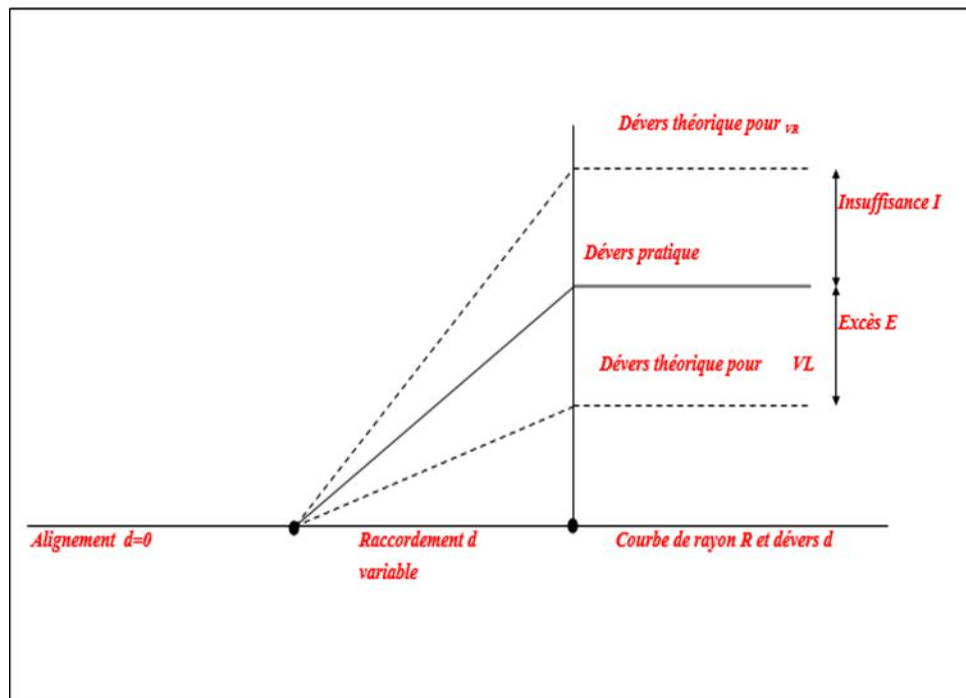


Figure IV.3: Raccordement de dévers

IV. 1.8. Application pour notre projet

*Calcul des paramètres de tracé en plan

On a les données SNTF du projet :

- Vitesse des trains de voyageurs (maximale) : 220 km/h
- Vitesse des trains de marchandises (minimale) : 110 km/h

Tableau IV.5 : Les valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé en plan (SNTF) pour une vitesse de 220 km/h

Valeur	Normale	Exceptionnelle
I(mm)	120	160
E(mm)	110	130
d(mm)	160	180
$\Delta d/\Delta l$ (mm/m)	2.25	2.5
$\Delta I/\Delta t$ (mm/s)	50	75
$\Delta d/\Delta t$ (mm/s)	50	60

Détermination du Rayon minimale normale (R_{min})

$$R_{min} = \frac{11.8 * 220^2}{160 + 120} = 2039.7m$$

On prend : $R_{min} = 2040$

Calcul du coefficient de dévers (C)

$$C = 0.006 V^2$$

A.N : $C = 0.006 * 220^2 = 290.4$

Calcul du dévers pratique d_p :

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

A. N : $d_p = \frac{1000 * 290.4}{2500} = 116.16mm$

On prend : $d_p = 116.19mm$

Calcul de l'insuffisance :

$$I = \frac{11.8 * V_{max}^2}{R} - d_p = \frac{11.8 * 220^2}{2500} - 116.16 = 112.29mm$$

Calcul de de l'excès

$$E = d_p - \frac{11.8V_{\min}^2}{R} = 116.16 - \frac{11.8 \cdot 100^2}{2500} = 68.96$$

Calcul de la longueur de la clothoïde (L) :

$$l \geq \frac{d_p * V_{\max}}{3.6 * \frac{d_d}{d_t}}$$

$$l \geq \frac{116.16 * 220}{3.6 * 50}$$

On prend : L = 141.97m

$$L \geq 142$$

Calcul du paramètre de clothoïde (A) :

$$A = \sqrt{R * L}$$

$$A = \sqrt{2500 * 142} = 595.81\text{m}$$

Calcul d'axe :

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

$$R = 2500 \text{ m}$$

$$A = 595.81 \text{ m}$$

$$\mathbf{X1} = 499606.911, \mathbf{X2} = 499755.545, \mathbf{X3} = 498462.093$$

$$\mathbf{Y1} = 3775808.496, \mathbf{Y2} = 3774070.236, \mathbf{Y3} = 3772144.141$$

Calcul de gisement :

$$|\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = 148.6345\text{m}$$

$$|\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = 1738.26\text{m.}$$

$$|\Delta X1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 1293.452\text{m}$$

$$|\Delta Y1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = 1926.095\text{m.}$$

D'où :

$$G_{1-2} = 200 + \arctg |\Delta X| / |\Delta Y| \Rightarrow G_{1-2} = 205.43 \text{ gr.}$$

$$G_{2-1} = 200 + \arctg |\Delta X_1| / |\Delta Y_1| \Rightarrow G_{2-1} = 237.64 \text{ gr}$$

Calcul de l'angle γ

$$\gamma = |G_{S_1 S_2} - G_{S_0 S_1}| \Rightarrow \gamma = 237.64 - 205.43 = 32.21 \text{ gr.}$$

Calcul de l'angle τ :

$$\tau = 200 \cdot L / 2 \pi \cdot R = 200 \cdot 142 / 2 \cdot 3.14 \cdot 2500 = 1.80 \text{ gr}$$

$$\text{Avec : } L = A^2 / R = 595.81^2 / 2500 = 141.99 \text{ m. On prend } L = 142 \text{ m.}$$

Calcul de la tangent T

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

$$\text{Avec } X_m = L / 2 = 142 / 2 = 71 \text{ m}$$

$$\Delta R = L^2 / 24R = 0.336 \text{ m} \quad \text{D'où : } T = 717.37 \text{ m}$$

Calcul de la distance :

$$\overline{S_1 S_0} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} = 1744.60 \text{ m}$$

$$\overline{S_2 S_1} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} = 99.100 \text{ m}$$

$$S_{0K_{A1}} = \overline{S_1 S_0} - T = 124.98 - 717.37 = 1027.23 \text{ m}$$

Calcul de la corde SL

$$L = X^2 + Y^2 \text{ avec } X = L = 71 \text{ m. Et } Y = L^2 / 6R = 0.168 \text{ m. D'où } SL = 71 \text{ m.}$$

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2} \text{ avec } X = L = 71$$

$$\text{Et } Y = \frac{L^2}{6R} = \frac{71^2}{6 \cdot 2500} = 0.336 \text{ m } SL = 71 \text{ m}$$

Vérification de non chevauchement :

$$\text{Il faut que } \tau < \gamma / 2. \text{ Et on a } \tau = 0.452 \text{ gr et } \gamma / 2 = 6.15 \text{ gr}$$

Alors la condition est vérifiée $\Rightarrow$ pas de chevauchement.

Calcul de l'angle polaire σ :

$$\sigma = \arctg Y / X \text{ alors } \sigma = 0.030 \text{ gr.}$$

Calcul de α :

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 11.40 \text{ gr.}$$

Calcul de La longueur de l'arc :

$$B = 12 = [\pi \cdot R (\gamma - 2\tau)] / 200 \Rightarrow B = 894.90 \text{ m.}$$

$$K_{E1} K_{E2} = \frac{(\pi * R * (\gamma - 2\tau))}{200} = \frac{(3.14 * 2500 * (32.21 - 2 * 1.80))}{200} = 1122.94$$

Calcul des coordonnées des points singuliers

Le point K_{A1} :

$$XK_{A1} = X_{S1} - T \sin G_{s1s0} = 499606.911 - 717.37 \sin 205.43 = 42500.82m$$

$$YK_{A1} = Y_{S1} + T \cos G_{s1s0} = 3775808.496 + 717.37 \cos 205.43 = 3762796877.87m$$

Le point K_{A2}

$$XK_{A2} = X_{S1} + T \sin G_{s2s1} = 499606.911 + 717.37 \sin 237.64 = 278879.44m$$

$$YK_{A1} = Y_{S1} + T \cos G_{s2s1} = 3775808.496 + 717.37 \cos 237.64 = 314087.12m$$

Le point $KE1$:

$$XK_{E1} = XK_{A1} + SL \sin (G_{s1s0} + \sigma) = 42500.82 + 71 \sin (205.43 + 0.030) = 42494.73m$$

$$YK_{E1} = YK_{A1} + SL \cos (G_{s1s0} + \sigma) = 314087.12 + 71 \cos (205.43 + 0.030) = 314016.39m$$

Le point $KE2$:

$$XK_{E2} = XK_{A2} + SL \sin (G_{s2s1} + \sigma) = 278879.44 + 71 \sin (237.64 + 0.030) = 27883983m$$

$$YK_{E2} = YK_{A2} + SL \cos (G_{s2s1} + \sigma) = 314016.39 + 71 \cos (237.64 + 0.030) = 313957.46m$$

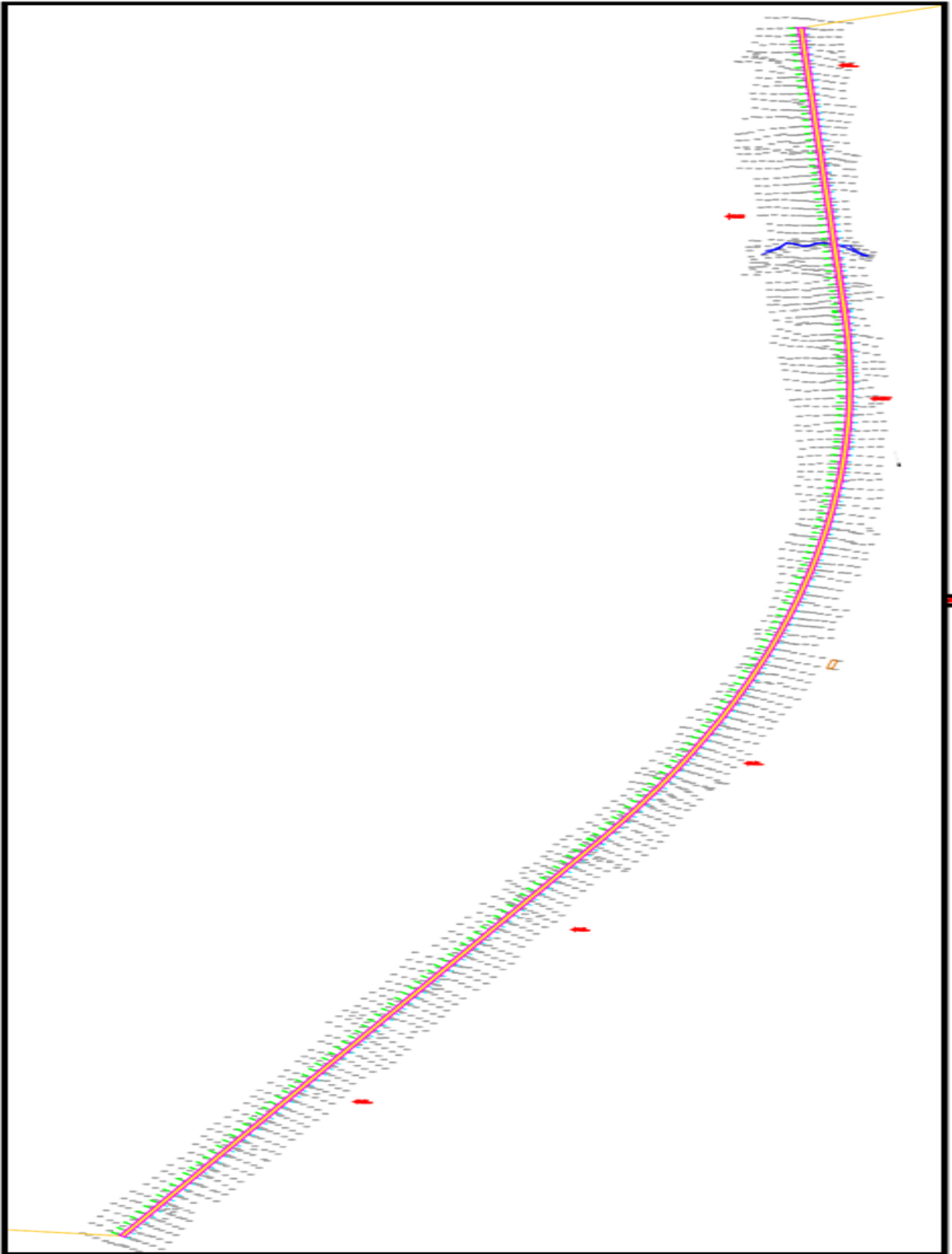


Figure IV.4 : Tracé en plan par Covadis

IV.2. Profil en long

C'est une coupe verticale passant par l'axe de la voie ferrée qui permet de visualiser le tracé dans le sens longitudinal. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel ;
- L'altitude du projet ;
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées...etc.

IV.2.1 Règles à respecter dans le tracé du profil en long

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long
- Pour minimiser le cout en va limiter les quantités de déblai et remblai
- Respect les valeurs des rayons minimum préconisent par les règlements
- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé.
- Respecter la déclivité maximale qui est de 16‰, et de 0‰ au sein des gares et haltes.
- Eviter aux maximums les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en

vigueur [1]

IV. 2.2 Eléments géométriques 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 verticales**: ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.[4]

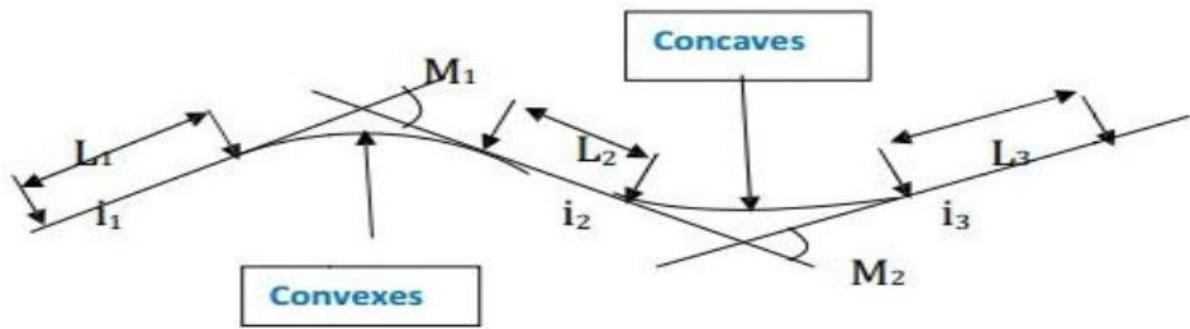


Figure IV.5: Les éléments de profil en long

IV.2.3. Longueur minimale des éléments du profil en long

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importantes aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.

$$L_{\min} = \frac{v}{2} = \frac{220}{2}$$

$$L_{\min} = 110$$

Tableau IV.6: Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF Géométrie de la voie)

Valeur minimale normale	$\frac{v}{2}$
Valeur minimale exceptionnelle	$\frac{v}{2.5}$

IV.2.4 Le raccordement en profil en long

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, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise.

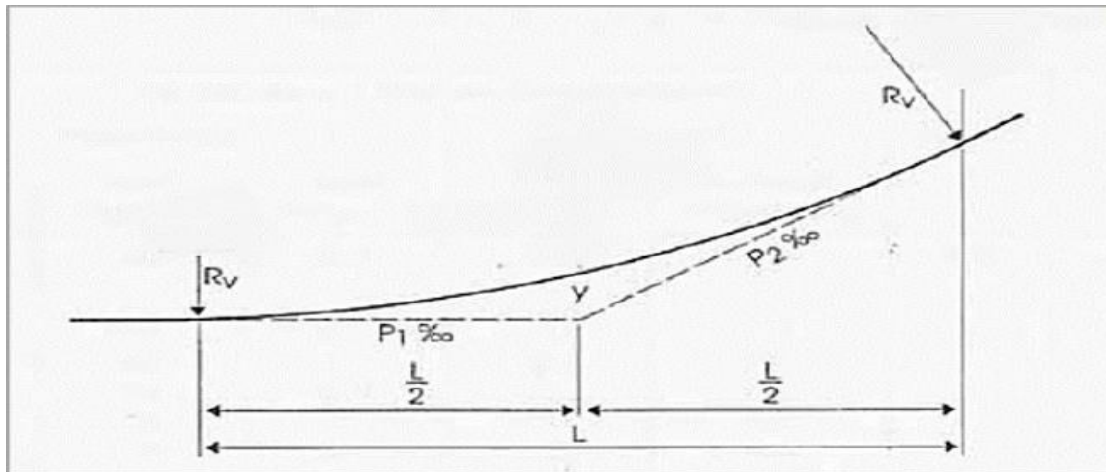


Figure IV.6: Schéma du raccordement circulaire

Selon l'UIC le rayon minimal des courbes de raccordement ne doit pas être inférieur à 2000m.

Selon la SNTF le rayon minimal se calcule suivant le tableau ci-dessous :

Tableau IV.7: Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

Valeur normale	$R = 0,35V^2$
Valeur exceptionnelle	$R = 0,25V^2$
Points particuliers	$R = 0,15V^2$

V : vitesse des trains de voyageurs (maximale)

IV.2 .5. Déclivité maximale

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur selon la dernière version de l'instruction SNCF/RFF IN 0272 :

- En déclivité de 16 ‰ et exceptionnellement 18 ‰, la longueur ne doit pas dépasser les 3000 m.
- Une déclivité 16 ‰ à 13 ‰, exceptionnellement de 18 ‰ à 15 ‰, la longueur est limitée à 15 000m.
- Une déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, elle ne doit pas dépasser 13 ‰ et exceptionnellement 15 ‰. [4]

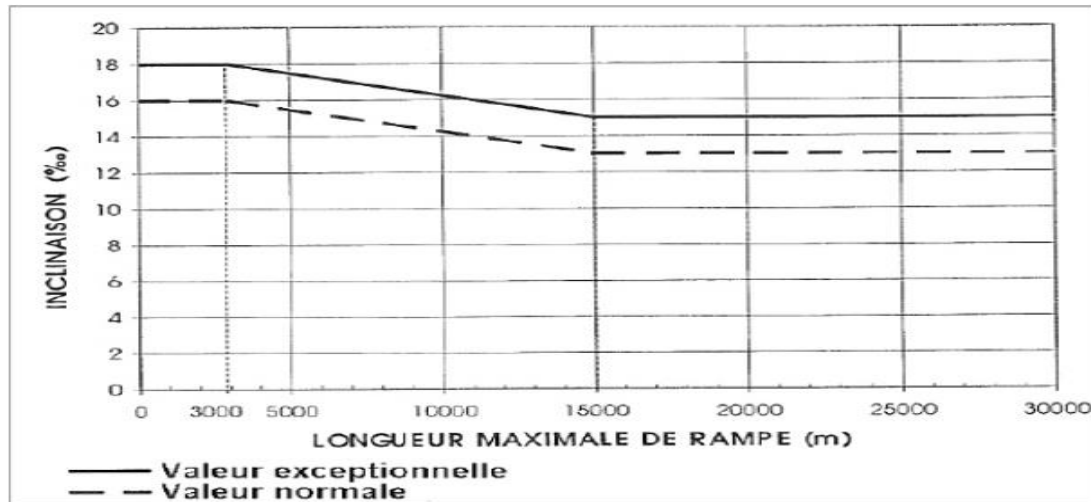


Figure IV.7: Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)

IV.2 .6. Coordination profil en long-tracé en plan

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

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan.
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

Le respect de ces conditions a pour but de :

- Distinguer clairement les dispositions des points singuliers.
- Prévoir de loin l'évolution du tracé et assurer une bonne visibilité.
- Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant.
- Offrir du confort aux voyageurs. [1]

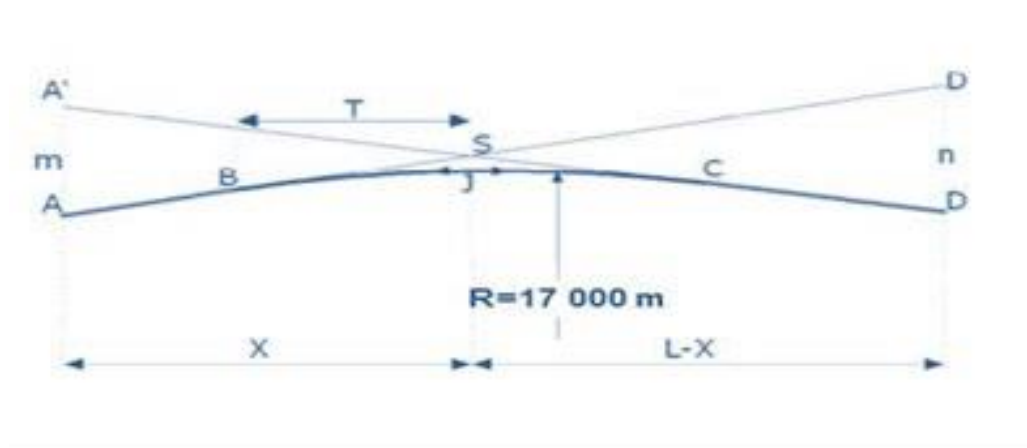
IV.2.8. Application au projet

- $V=220$ km/h
- $R_{vmin} = 0,35V^2 = 16940$ m
- La déclivité max = 1.6%

- La longueur maximale de la déclivité maximale = 3 000 m
- La longueur minimale de éléments = $V_v/2 = 220/2 = 110$ m.

1-Calcul des éléments du profil en long

$$R_{v \min} = 17000 \text{ m}$$



Point A:

$$X_a = 67000$$

$$Z_a = 888.16$$

Point S:

$$X_s = 1154.88$$

$$Z_s = 900.81$$

Point D :

$$X_d = 3988.07$$

$$Z_d = 890.16$$

2-Calcul des pentes :

$$P_1 = (Z_s - Z_a) / (X_s - X_a) = (900.81 - 888.16) / (68154.88 - 67000) = 1.10\%.$$

$$P_2 = (Z_s - Z_d) / (X_s - X_d) = (900.81 - 890.16) / (68154.88 - 3988.07) = 1.165\%.$$

3-Calcul des tangentes

$$X1=R.P1=17000*0.0109=185.3m$$

$$X2= R.P2=17000*0.0165=280.5m$$

$$T= \frac{X1+X2}{2} = \frac{185.3+280.5}{2} = 232.9m$$

4-Calcul des coordonnées des points de tangentes :**- Calcul des coordonnées du point B :**

$$= Xs - T = 1154.888 - 232.9 = 921.988m$$

$$= Zs + T \times |1\%| = 900.81 + 232.9 = 1133.71 \text{ m}$$

- Calcul des coordonnées du point C :

$$= Xs + T = 506097.165 \text{ m.}$$

$$= Zs + T \times |p2 \text{ \%}| = 1427.36m$$

5-Calcul de la longueur de la courbe :

$$L= 2*T$$

$$L= 2.232.9 = 465.8m$$

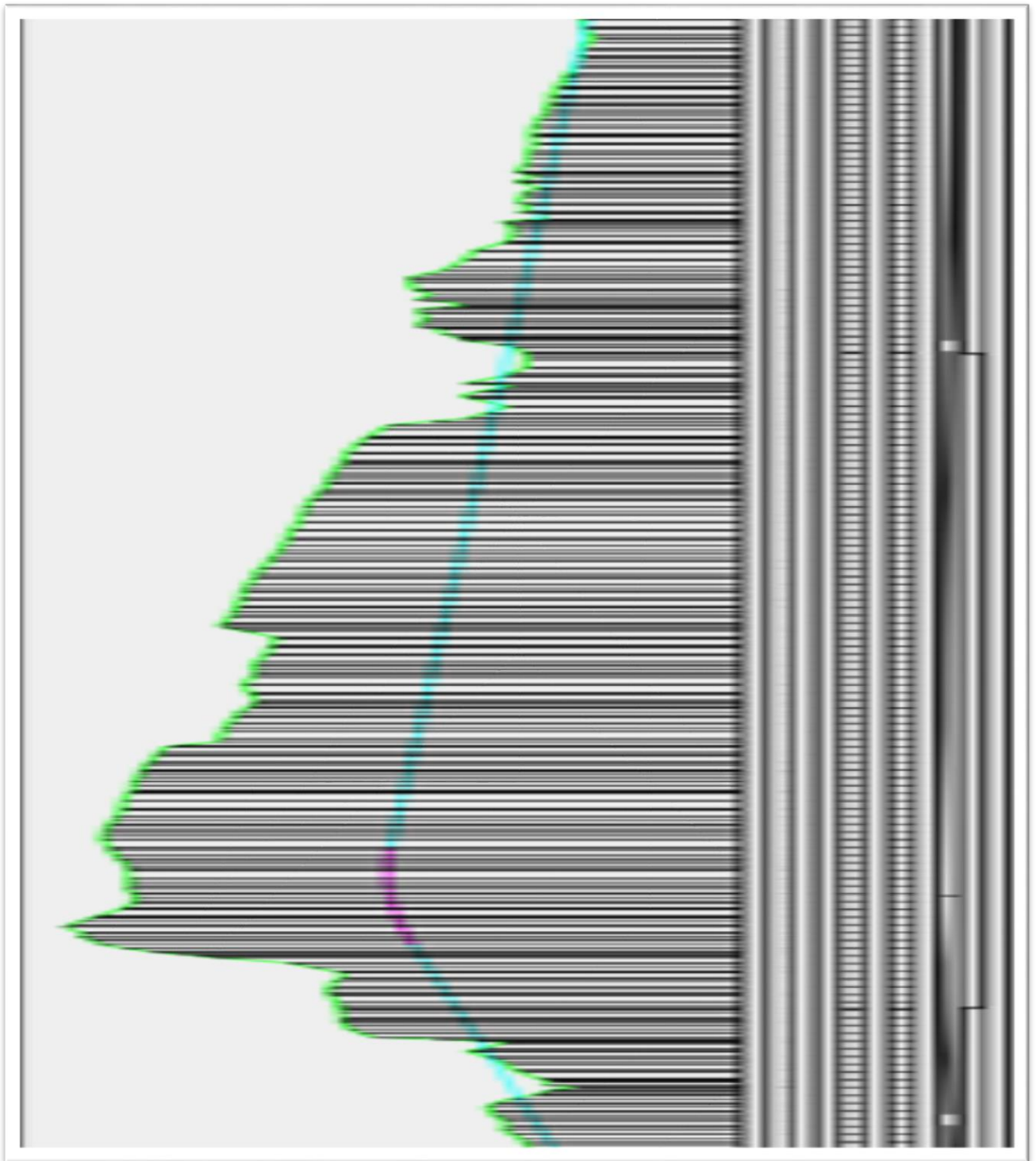


Figure IV.8: Profil en long

IV. 3. Le profil en travers

IV. 3.1. Définition

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette voie suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette dernière.

L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

On distingue deux types de profil :

- Profil en travers type,
- Profil en travers courant .

IV. 3.1.1. Profil en travers type

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

IV. 3.1.2. Profil en travers courant

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux...etc.).

IV. 3.2. Constituants du profil en travers type

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

A. 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 utilisée.
- ✓ Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).
- ✓ La valeur de devers en courbe (maximum).
- ✓ L'épaisseur de la couche de ballast.
- ✓ La longueur de repoussées de ballast.

B. Eléments de l'infrastructure

- ✓ Les pentes transversales de chaque couche.
- ✓ La pente latérale de la plate-forme.
- ✓ Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.

C. Eléments du talus (remblai ou déblai)

- ✓ La pente de chaque talus.
- ✓ Les ouvrages de consolidation éventuelle telle que les murs de soutènement.

D. Eléments d'assainissement

- ✓ Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinal).

E. Eléments de protection de la voie

- ✓ Butée en terre en cas d'ensablement.
- ✓ Ecrans de protections contre les chutes de pierres. [1 ,8]

IV. 3 .3. Cas de notre projet

Pour notre projet on a opté pour les sections types exigés par la SNTF :

- Concevoir une voie unique sur une plateforme pour voie unique
- Prendre en considération dans la conception de la section type les gabarits nécessaires pour la future électrification (caniveaux des câbles et les appuis de poteau d'électrification).
- Dans les viaducs, pont rails et les ponts routiers, on a conçu une largeur pour voie double pour le futur dédoublement de la voie (en considérant aussi la future électrification).

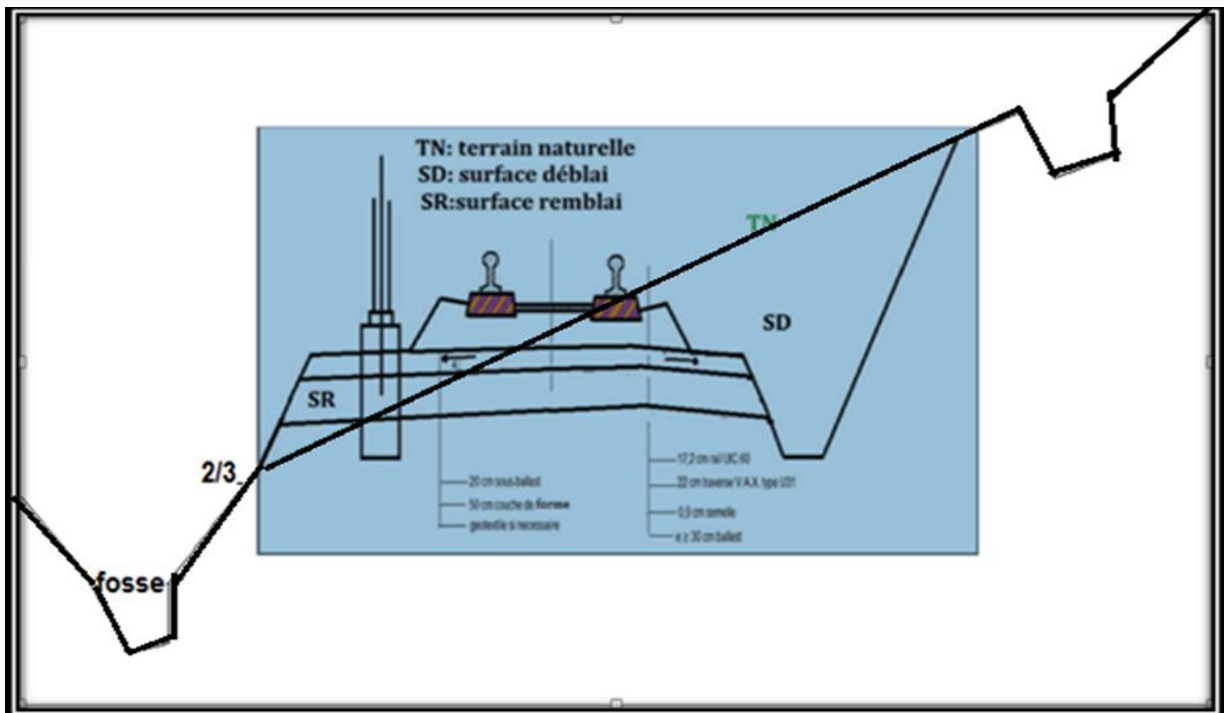


Figure IV.9: Exemple profil en travers type

IV. 3.4. Les éléments du profil en travers

- ✓ **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- ✓ **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- ✓ **Plate-forme** : Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.
- ✓ **La voie** : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- ✓ **La berme** : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- ✓ **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie. [1]

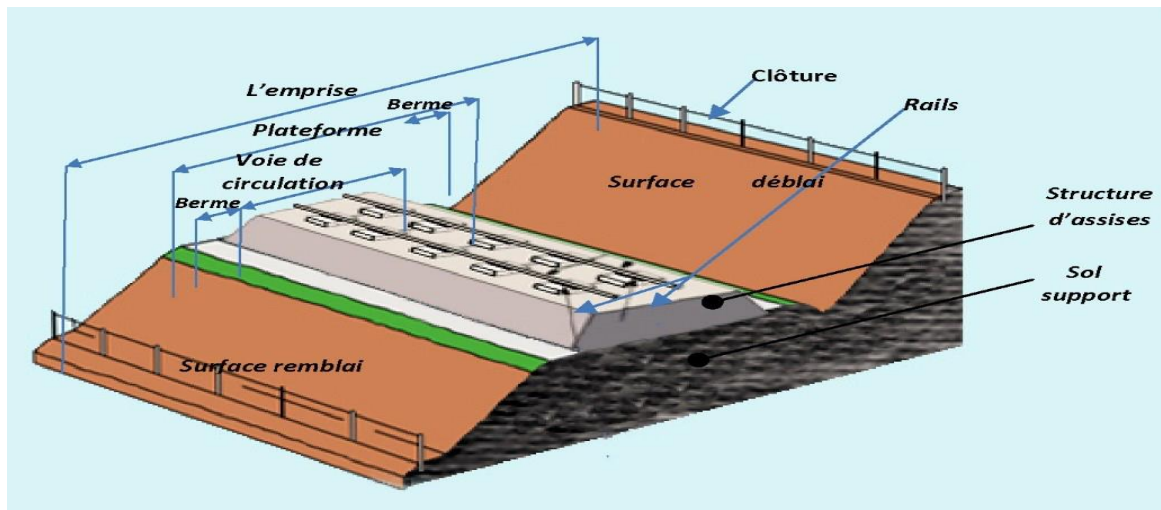


Figure IV.10 : Les éléments du profil en travers

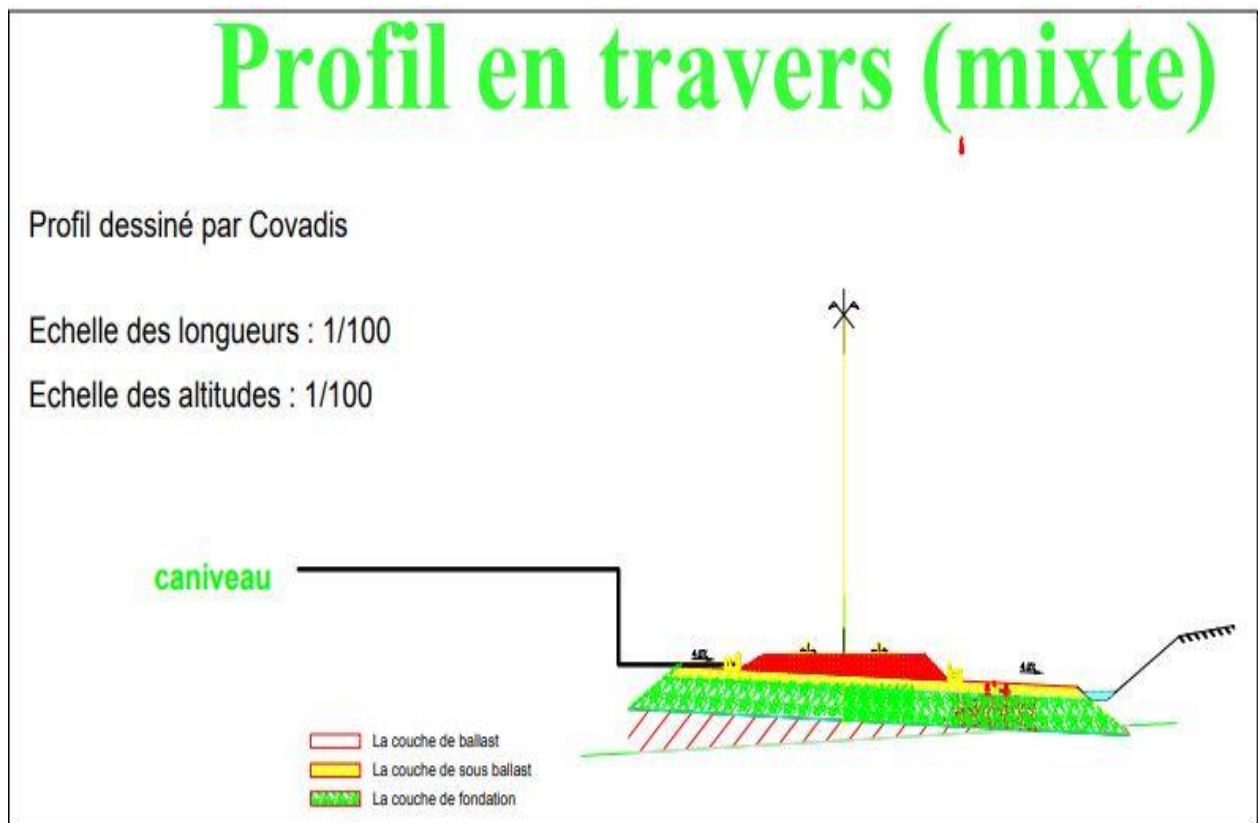
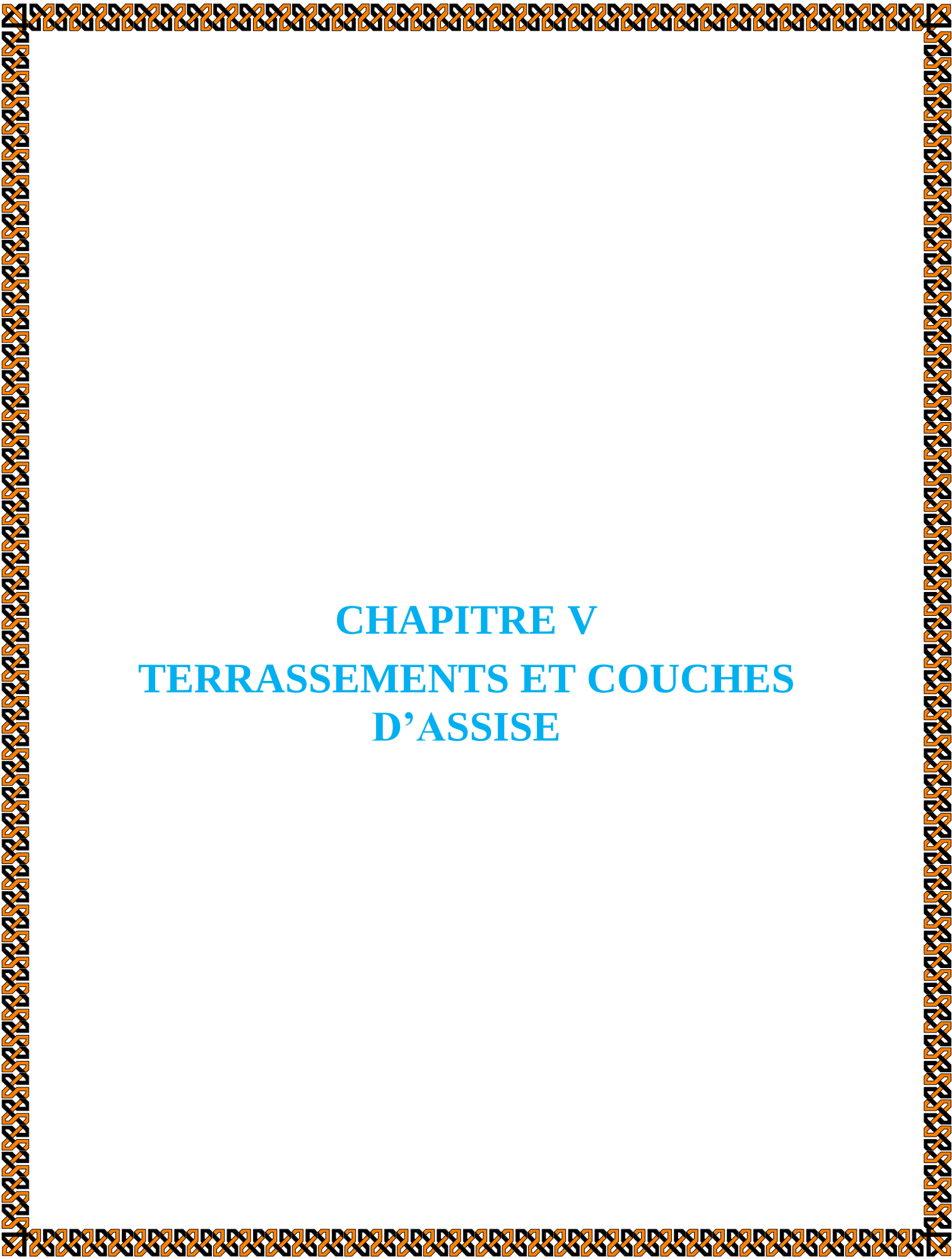


Figure IV.11 : profil en travers

IV.4. Conclusion

Pour conclure, on peut dire que l'étude géométrique a pour but l'obtention d'une bonne évolution des trains pour qu'ils puissent atteindre une vitesse de 220 km/h. Notre calcul est basé sur les normes et les recommandations de l'UIC et la SNTF. La tâche la plus importante dans un projet ferroviaire est la constitution du profil en long sur tous les plans économiques et techniques. On prend en considération la déclivité et la coordination entre le tracé en plan et notre profil en long.



CHAPITRE V

TERRASSEMENTS ET COUCHES D'ASSISE

V. 1. Terrassement

Le terrassement est une étape importante dans la plupart des travaux de génie civil ou de construction. La gamme de tailles de sites est extrêmement large, des sites d'excavation des bâtiments de base aux grandes infrastructures.

Leur réalisation nécessite le respect de prescriptions exigeantes notamment en matière de précision de dimensionnement, de stabilité, de portance et de pérennité.

V.1.1. Remblai

Est un ensemble des terres rapportées sur le terrain pour créer une plate-forme ou combler une cavité.

Le résumé des résultats de l'étude de stabilité des remblais importants (hauteur importante) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Caractéristiques des remblais

PK (début)	PK (Fin)	Facteur de sécurité		Pente talus (H/V)	Largeur berme (m) / hauteur talus (m)
		Condition Statique (calcul long terme)	Condition sismique		
69 + 360	69 + 700	1,65	1,40	2/1	Berme 3m /talus 8m

V. 1.2 Déblai

Est l'action d'enlever des terres, des décombres pour mettre un terrain de niveau, pour creuser des fondations, un fossé, etc.

V. 1.3. Calcul des cubatures

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

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :

- Méthode de la moyenne des aires
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée

La méthode utilisée

Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel COVADIS 9.1. Les détails de calcul sont joints dans l'annexe.

Tableau V.3: Les valeurs des volumes

Volume déblais (m ³)	130976
Volume remblais (m ³)	12372
Ballast (m ³)	2024.55
Sous ballast (m ³)	6988.08

V. 2. Couches d'assise

V. 2. 1. Introduction

La structure d'assise ou l'infrastructure de la voie est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Pour rôle suivant :

- Répartissent sur la plateforme, les charges concentrées par les traverses,
- Amortissent une part des vibrations en provenance des vibrations des contacts rail roue,
- Contribuent aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

Elle permet donc pour une large part d'assurer par sa nature et son épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage

V. 2.2. Les différentes couches d'assises

Elles comprennent la couche de ballast, la sous couche et la couche de forme.

V. 2.2.1. La couche de ballast

Le ballast est le lit de pierre interposé entre la voie proprement dite et la plateforme, il est issu du concassage de roches dures (granite, quartzite, grès, ...etc.) et sa granulométrie varie entre 25 et 50 mm.

On utilise du gravillon fin (de 15 à 35 mm) pour son nivellement et une épaisseur minimale de 30 cm, cette couche a pour rôle de :

- Amortir une partie des efforts dynamiques engendrés par les circulations grâce à ces propriétés.
- Assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage et l'évacuation rapide des eaux.
- Permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du mécanisme bourrage-dressage.
- S'opposer par le frottement de ses éléments entre eux et contre les traverses à tout déplacement de la voie (Le choix de la grosseur du ballast dépend de la nature des traverses).



Figure V.01: Photos d'un ballast

V. 2.2.1. 1. Caractéristiques du ballast **Caractéristiques physiques**

- Granulométrie : on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF) ;
- Forme de granulats (Angularité et rugosité) : Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse et assurer par le frottement ballast/traverse le bon maintien en place de ces derniers ;
- Homogénéité des granulats : Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement ;
- Propreté des granulats : le ballast doit être exempt des éléments fins et débris ;
- Perméabilité : Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie ;
- Densité : Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

 Caractéristiques mécaniques

- Résistance à l'attrition : Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, l'essai qui caractérise la résistance à l'attrition est appelé L'essai DEVAL (Effectué d'une part à l'état sec 'DS' et d'autre part à l'état humide 'DH').

DS > 14 (pierres dures) et DH > 6 selon document (SNTF).

DS > 12 (pierres carbonatées). ;

- Résistance aux chocs : Sous l'effet de contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, donc pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats on réalise l'essai LOS ANGELES. Pour un ballast acceptable le coefficient 'LA' doit être inférieur à 25% ;
- La dureté : Afin de résister aux efforts reçus ainsi qu'à l'usure par abrasion du fait de vibrations engendrées par les charges roulantes. Elle est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale 'DRG', (il varie selon la nature des traverses et du trafic).

- Résistance à la compression : Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire, en Algérie (RC > 14 KN/cm², Document SNTF).

V .2.2.2. La sous-couche

Mono ou multicouche, composée grenus (sable ou graves) bien graduées qui comporte parfois des tapis de nature diverses : feuilles étanches pastique (géo membranes) ou feuilles en feutre synthétique anti contaminant (géotextile).

V. 2.2.2.1. Les rôles de la sous-couche

- Protection de la partie supérieure de la plate-forme contre l'érosion qui résulte soit, d'une part du poinçonnement opéré par les éléments du ballast, d'autre part de l'action des eaux zénithales ;
- Protection de plateforme contre les effets du gel ;
- Meilleure répartition des charges transmises, permette d'obtenir au niveau de la partie supérieure de la plate-forme des sollicitations de valeurs admissibles, eu égard à l'indice de portance du sol.

La sous-couche est pentue transversalement (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de plateforme (remblais). La pente transversale minimale est de l'ordre de 3 %.

Dans les zones de voies a fort dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche pouvant aller jusqu'à 8 %.

V. 2. 2.2.2. Constitution de la sous couche

❖ Sous-ballast

Est une couche en grave propre bien graduée 0/31,5 mm comportant au moins 30 % de concassé, compacté à 100 % OPN et ayant une DRG ≥ 12 . Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses où elle sert de couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise.

❖ Couche de fondation

Est une couche en grave propre bien graduée, compactée à 100 % OPN, et d'une épaisseur de 15 cm minimum, la DRG exigé est ≥ 10 . Cette couche permet la circulation des engins de chantier (la couche « sous-ballast » étant mise en œuvre en fin de chantier, lorsque les travaux de terrassement proprement dit sont tous achevés).

S'il y a lieu une couche anti contaminant en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15 cm, elles sont complétées en outre par une feuille de feutre synthétique (Géotextile).

V. 2.2.3. La couche de forme

La partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme généralement pentée transversalement, son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm.

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

Situé en déblai, cette couche de forme est obtenue en générale par le compactage du fond de fouille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants. [12]

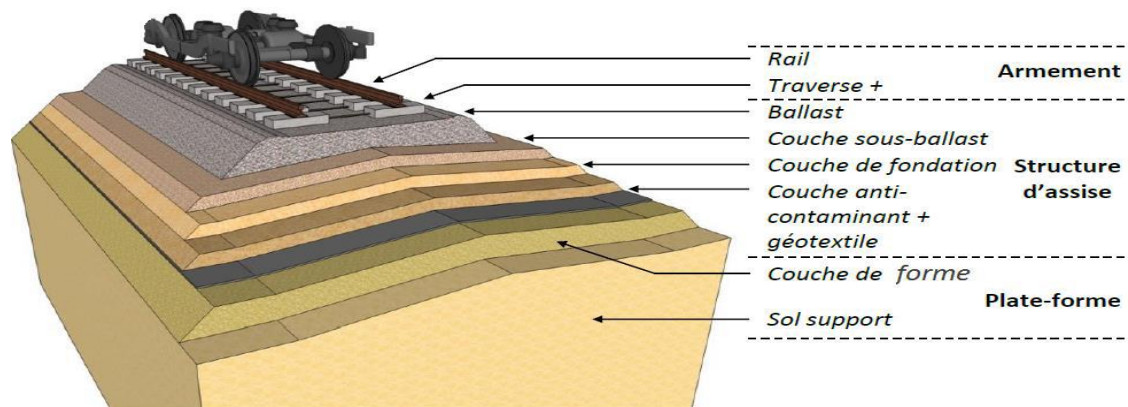


Figure V.2 : Maquette de différentes couches de l'assise ferroviaire

V. 2.3. Dimensionnement des couches d'assise

Le dimensionnement des couches d'assise doit prendre en compte à la fois :

- Les problèmes de portance ;
- Les problèmes de gel ;

Du point de vue de la portance, l'épaisseur globale « ballast + sous ballast » dépend :

- De la classe de portance de la plate-forme ;
- Du type de l'espacement des traverses ;
- Des caractéristiques de trafic (tonnage supporté, charge d'essieu, vitesse).

V. 2.3.1. Classe de qualité du sol selon L'UIC (fiche UIC 719R)

D'après les règlements de l'union internationale des chemins de fer (fiche UIC 719R) :

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

- La nature géotechnique du sol à cet égard, on utilise l'identification géotechnique ;
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales. Ces conditions, en ce qui concerne l'influence sur la portance des sols, sont réputées bonnes si ;
 - ✓ La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable) ;
 - ✓ La plate-forme n'est pas le siège de percolations naturelles nocives transversales longitudinales ou verticales ;
 - ✓ Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plate-forme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

Si l'une au moins de ces trois dernières conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises.

On distingue, selon les conditions ci-dessus sont bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité Q_{Si} de sol ci-après :

(Q_{S0} = sols impropre, Q_{S1} = sols médiocres, Q_{S2} = sols moyens, Q_{S3} = bons sols) constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

V. 2.3.2. Classes de portance de plateforme

On fait la classification de la plate-forme selon l'UIC (Fiche 719 R), Pour classer les plates-formes il faut :

- La qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe) ;
- La qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du déblai.

On peut distinguer, en fonction des paramétrés ci-dessus les trois classes de portance de plateforme suivantes :

P3 : bonne plateforme.

P2 : plateforme moyenne.

P1 : plateforme mauvaise.

V.2.3.3. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

L'épaisseur de la couche d'assise (e = épaisseur du ballast + épaisseur de la 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.

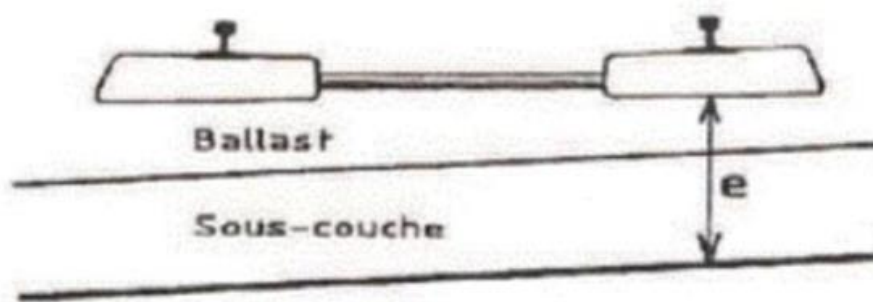


Figure V. 3 : couches d'assise

V.2. 3.5. Les paramètres de dimensionnement : E, a, b, c, d, f, g

Valeur de E et l'utilisation des géotextiles

Tableau V.2: Les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.

Classe de qualité du sol support	Couche de forme mise en œuvre		Classe de portance de la plate-forme	E (m)
	qualité	Epaisseur min (m)		
QS1	QS1	-	P1	0.70 + géotextile
	Sol traité aux liants	0.30	P2	0.55+géotextile
	QS2	0.55	P2	0.55+géotextile
	QS3	0.40	P2	0.55
	QS3	0.50	P3	0.45
QS2	QS2	-	P2	0.55
	QS3	0.40	P3	0.45
QS3	QS3	-	P3	0.45

*Les Valeurs de 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 pour les lignes de groupes 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.

*Les Valeurs de 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 mètre si $L > 2.5$, b peut être négatif).

***Les Valeurs de c :**

- $c = 0$ m pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne) ;
- $c = 0.1$ m : à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ‘‘7, 8 et 9 sans voyageurs’’ ;
- $c = 0.05$ m : à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC ‘‘7, 8 et 9 sans voyageurs’’.

***Les Valeurs de d :**

- $d = 0$ m lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 20 tonne/essieu ;
- $d = 0.05$ m lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu ;
- $d = 0.12$ m lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.

***Les Valeurs de f :**

- $f = 0$ m pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse ;
- $f = 0.05$ m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
- $f = 0,10$ m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.

***Les Valeurs de g :**

- $g = +$ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 ;
- $g = 0$ (Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.[13]

V .3. Application au projet

V .3.1 Calcul de l'épaisseur du ballast

On adopte les valeurs suivantes (fichier UIC-719R) :

- Le sol de notre projet est classé en QS2 (sol moyen).
- La classe de portance de la plateforme est de type P2.
- La couche de forme n'est pas utile dans ce cas.

V .3.2 Les paramètres de dimensionnement de notre projet

- $a = 0$ m lignes à $V > 160$ km/h quel que soit le groupe (UIC).
- $E = 0.55$
- $b = (2.5 - 2.24)/2 = 0.13$ m : traverses en béton de longueur $L = 2.24$ m.
- $c = 0$ m : (nouvelle ligne)
- $d = 0,05$ m : la charge de l'essieu est de 22 ,5 tonne.
- $f = 0.05$ pour les plates-formes de classe de portance P2
- g : +géotextile car notre sol est de type QS2.

Donc :

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

$$e = 0 + 0.55 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0.05 + 0$$

$$e = 0.78 \text{ m}$$

On prend : $e = 0.80$ m

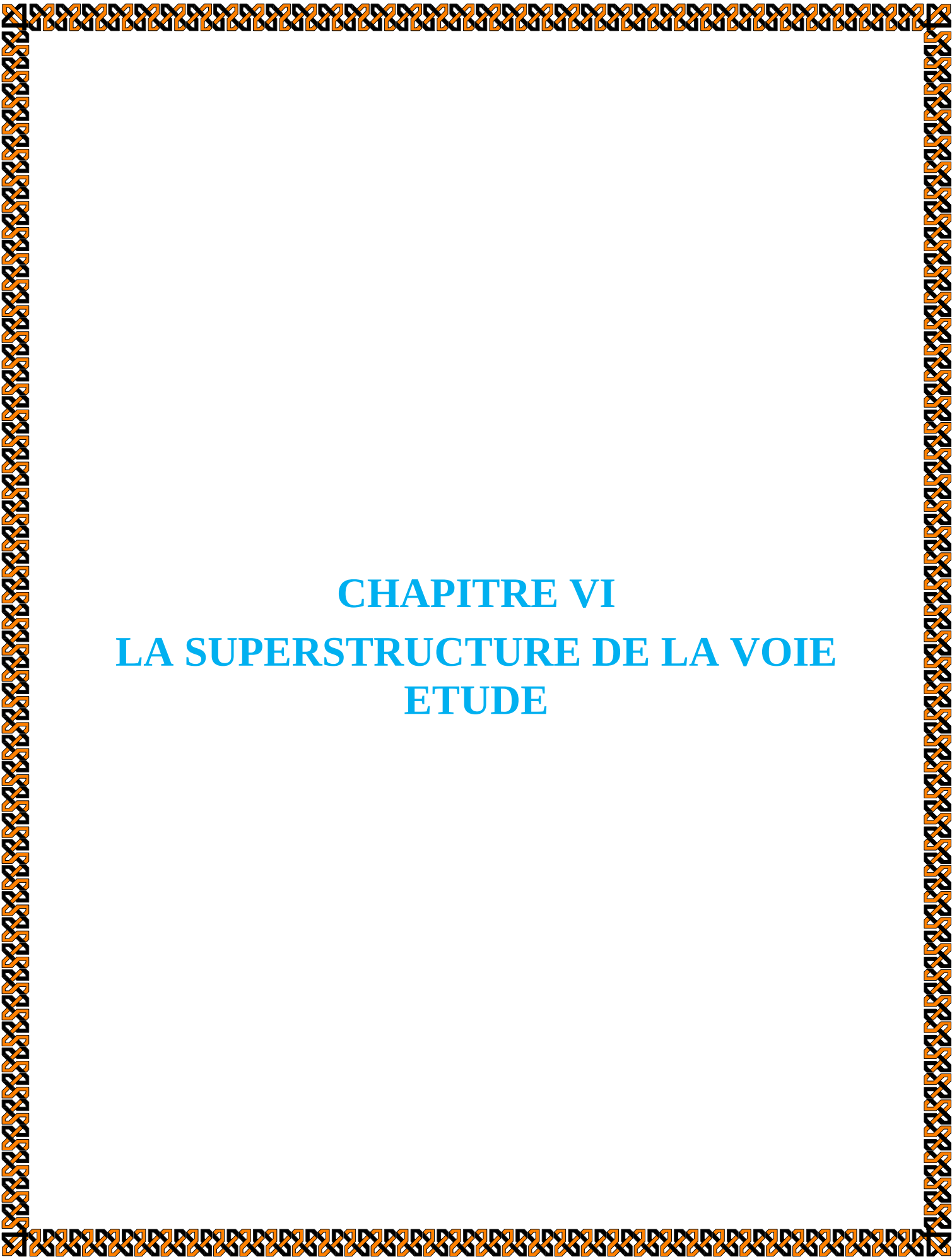
Tableau V.3 : Les épaisseurs des différentes couches

Couches	Epaisseur en (cm)
Ballast	30
Sous-ballast	25
Couche de fondation	35

V. 4. Conclusion

Au bout de cette étude, on met en évidence les différentes épaisseurs des couches qui doivent être présentes pour supporter et propager la charge transportée par le laminoir. Nous

nous sommes conformés aux normes UIC 719 R et SNTF en vigueur en Algérie, Nous parlerons dans le prochain chapitre des superstructures de la voie.



CHAPITRE VI

LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

ETUDE

VI. 1. Introduction

La voie de chemin de fer est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticités et d'amortissements variables (le ballast, les travers, les rails et leurs accessoires) qui assure la transmission de la charge statique et dynamique des roues à la plateforme. L'ensemble des composants de la voie doit également empêcher les mouvements longitudinaux et latéraux de la voie et ses déformations verticales. L'homogénéité des composants de la voie assure la sécurité opérationnelle de la circulation ferroviaire ainsi que le confort des passagers.

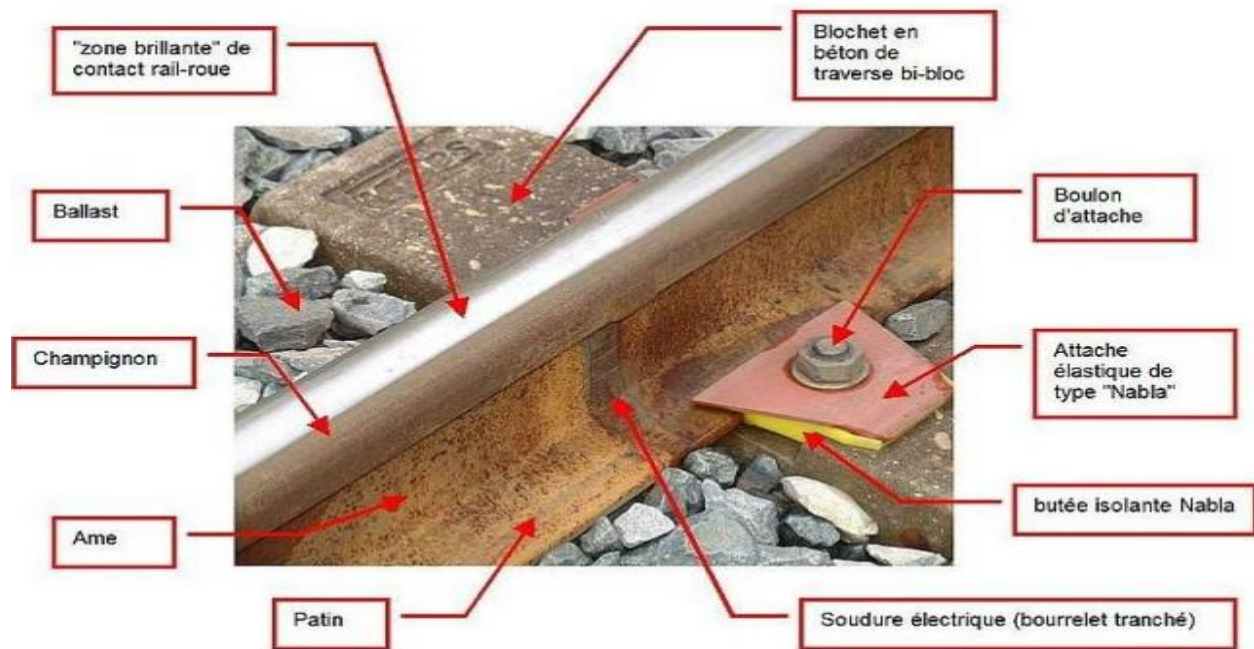


Figure VI.1: Les constituants de la voie

Chaque voie de chemin de fer a ces propres paramètres qui servent à définir des caractères de cette dernière qui sont :

- Le type de rail utilisé (poids, longueur, section) ;
- Le mode de fixation des rails aux traverses ;
- La longueur des rails en voie (barres normales éclissées ou LRS) ;
- L'écartement des rails, et les tolérances admises ;
- Le type et la densité des traverses (travelage) ;
- Le tracé en long (rayons de courbure et dévers) ;
- Le tracé en profil (pente ou rampe) ;
- Le support (ballast ou béton) ;

- La charge admise par mètre courant ou à l'essieu ;
- La vitesse des trains (voies à grande vitesse).

VI. 2. Catégories de la voie

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservée pour un objectif bien précis, on distingue ainsi :

- **Les voies de service** : affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées ;
- **Les voies d'évitement** : qui permettent à deux trains qui circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser ;
- **Les voies de garage** : affectées au stationnement du matériel roulant ;
- **Les voies principales** : affectées à la circulation des trains [9].

VI. 2. 1. Les rails

Le rail est un profilé métallique linéaire spécial. Il désigne le premier contact avec les roues et il serve principalement à la transmission des charges, le roulement et le guidage des véhicules. L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et aux corrosions. La longueur des rails est de 18 m à 36 m dont les deux files de rail sont fixées sur les traverses qui maintiennent leur écartement et répartissent la charge sur le ballast. [12]

VI. 2.1.2. Type de rail

Le rail le plus utilisés en chemin de fer est généralement de 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.

Le rail à « double champignon symétrique » avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que lorsque le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dus à l'écrasement au niveau des bordereaux).

Des rails à gorge de type « Broca » sont utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

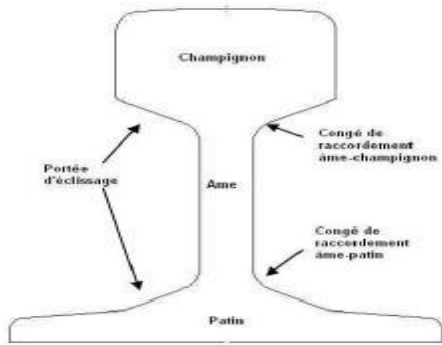


Figure VI.2 : Rail Vignole

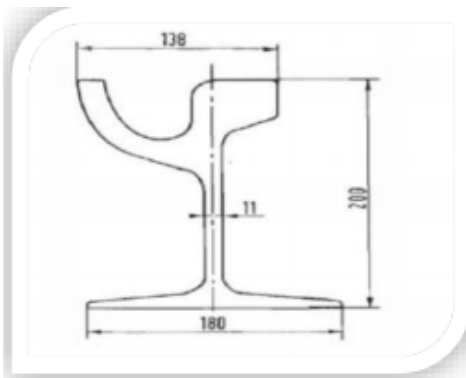


Figure VI.3: Rail à gorge

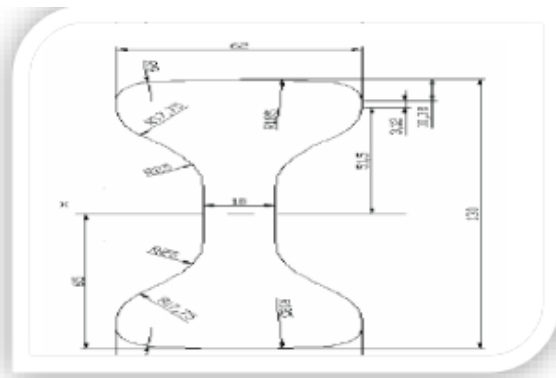


Figure VI .4: Rail DC (double)

a) Le champignon

C'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces forces latérales.

b) L'âme et portée d'éclissage

Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage.

c) Le patin

Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et celle de champignon et par les possibilités du laminage.

VI. 2.1.3. Ecartement des rails

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie « normale », c'est le plus utilisé à travers le monde (60%).

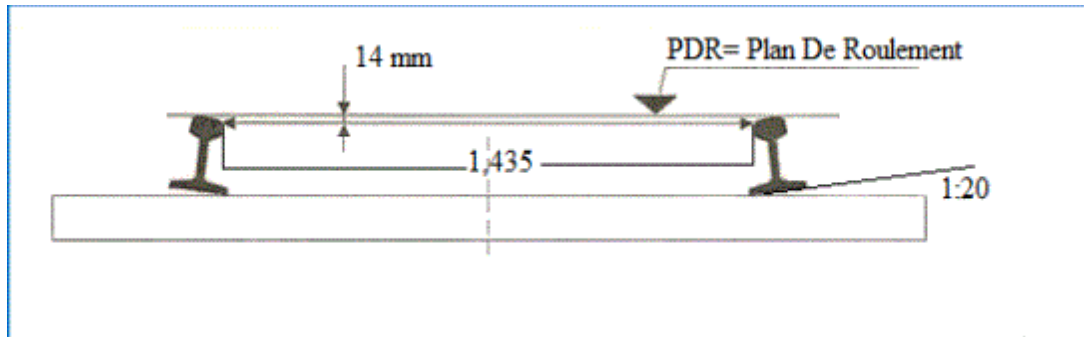


Figure VI.5: L'écartement entre les rails

VI. 2.1.4. Inclinaison du rail

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

VI. 2.1.5. Assemblage des rails

VI. 2.1.5.1. L'éclissage

Permet d'assembler deux rails consécutifs. Il doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue en alignement et en nivellement.
- Avoir une résistance à la déformation qui approche d'aussi près que possible celle des rails qu'il assemble,
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation.

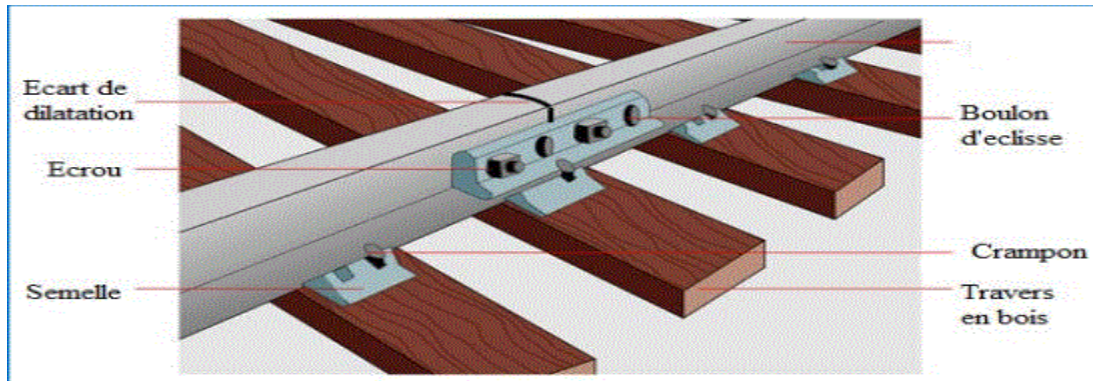


Figure VI. 6: L'éclissage

VI. 2.1.5.2. Défauts des rails

On distingue trois catégories de défaut de rails :

- **Rail avarié** : rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autres défauts généralement situés en surface ;
- **Rail fissuré** : rail présentant, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil.
- **Rail rompu** : tout rail qui s'est séparé en deux morceaux ou plus et tout rail dont un fragment de métal s'est détaché en provoquant sur la table de roulement une lacune de plus de 50 mm de longueur et 10 mm de profondeur.

VI .3. Les longs rails soudés (LRS)

On appelle long rail soudé (L.R.S) une barre dont la longueur est suffisante pour qu'un, au moins, de ses points reste fixe quelle que soient les variations de température, constituant une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur cette longueur.

C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.

La pose moderne est en LRS, tel que l'assemblage des barres se fait par soudage par forgeage électrique et soudage aluminothermique.



Figure VI. 7 : Photo d'une barre soudée

VI. 3.1. Avantages et inconvénients des L R S

➤ Les avantages

- ✓ Une réduction des coûts d'entretien de la voie ;
- ✓ Réduction du nombre d'avaries des rails
- ✓ Amélioration du confort
- ✓ Réduction de l'usure de la superstructure et des véhicules
- ✓ Réduction des dépenses énergétiques de traction

➤ Les inconvénients

- ✓ Efforts longitudinal important
- ✓ Glissement latéral et flambage de la voie

Les principaux inconvénients des LRS sont

- Un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessives lors de périodes de très fortes chaleurs.
- Un risque plus grand par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid.
- Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses. [12]

VI. 4. Application pour notre projet

*Les données du projet

- $V=220\text{km/h}$.
- La charge maximale par essieux est de 22.5 t.
- La résistance à la traction de l'acier utilisé est de 6800 kg/cm^2 .
- Les espacements des traverses : 0.65 m

1-calcul le coeff.de vitesse C_v

$$c_v = 1 + \frac{v^2}{30000} = 2.61$$

2-calcul de la charge dynamique

$$p_{stat} = 22.5t$$

$$P_{dyn} = C_v * P_{stat} = 22.5 * 2.61 = 58.73t$$

$$P_{dyn} = \frac{58.73}{2} = 29.36t$$

3-calcul de M_{max} :

$$M_{max} = \frac{p.l}{4} = \frac{29.36 * 10^3 * 65}{4} = 4.77 * 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$M_{max} = \frac{p.l}{8} = \frac{29.36 * 10^3 * 65}{8} = 2.39 * 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$M_{moy} = \frac{M1+M2}{2} = 3.58 * 10^5 \text{ kg.cm}$$

4-conditions de résistance :

$$\sigma = \frac{M}{I} . Y \leq \sigma'$$

$$\sigma = \frac{M}{W_{XX}} \leq \sigma'$$

$$W_{XX} \geq \frac{M_{moy}}{\sigma'} = W_{XX} \geq \frac{3.58 \cdot 10^5}{6800} \geq 55.88 \text{ cm}^2$$

Remarque : On a trouvé le type de rail S18 mais ce type n'est pas disponible en Algérie, donc on a utilisé le rail de type UIC 60.



Figure VI. 8: le rail UIC 60

Tableau VI. 1 : Caractéristiques géométriques d'un UIC 60 E1

masse linéique théorique	moment d'inertie I_x	Module d'inertie I_x/v	Section	résistance à la traction
60.21 kg/m	3038.3 cm^4	335.6 cm^3	76.7 cm^2	880 N/mm^2

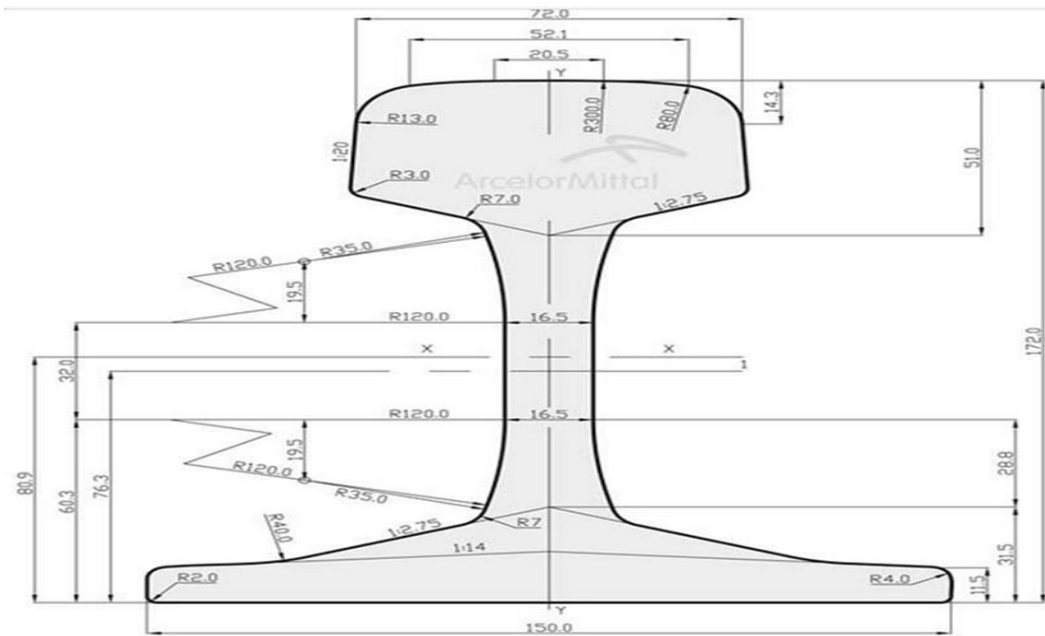


Figure VI. 9 : La géométrie du rail UIC 60 E1

VI .5. Les traverses

La transmission des efforts entre rail et ballast se fait par traverses qui assurent en même temps le maintien de l'écartement et l'inclinaison de la voie ferrée. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

VI .5. 1. Traverses en bois

Elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre qui sont appréciés pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur durée de vie est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression.

Dans nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vu leurs effets négatifs sur l'environnement et leur coût élevé.



Figure VI .10: Traverse en bois

VI .5. 2. Traverses en béton armé

Les travers en béton ont une durée de vie plus importante ainsi qu'il coute moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc. Il en existe deux types :

VI .5.2. 1. Traverses en Bi bloc

Formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de la traverse.

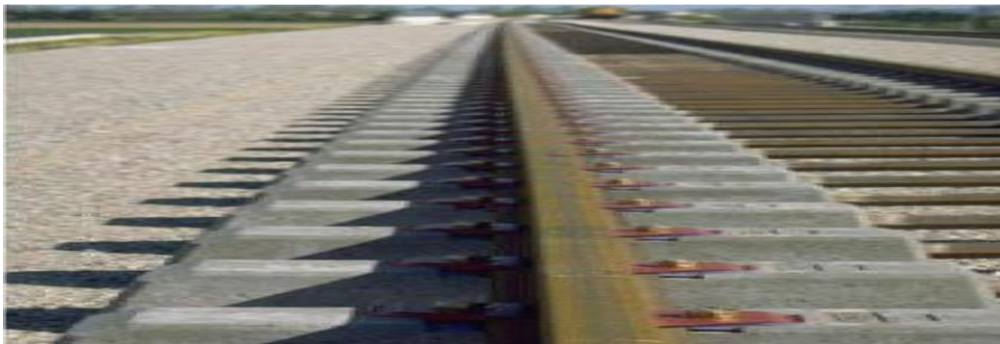


Figure VI .11: Traverse en Bi bloc

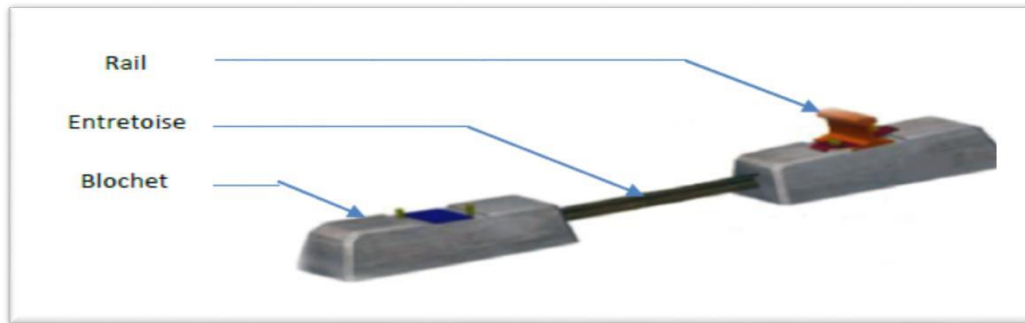


Figure VI .12: Eléments du Traverse en béton bi-blocs

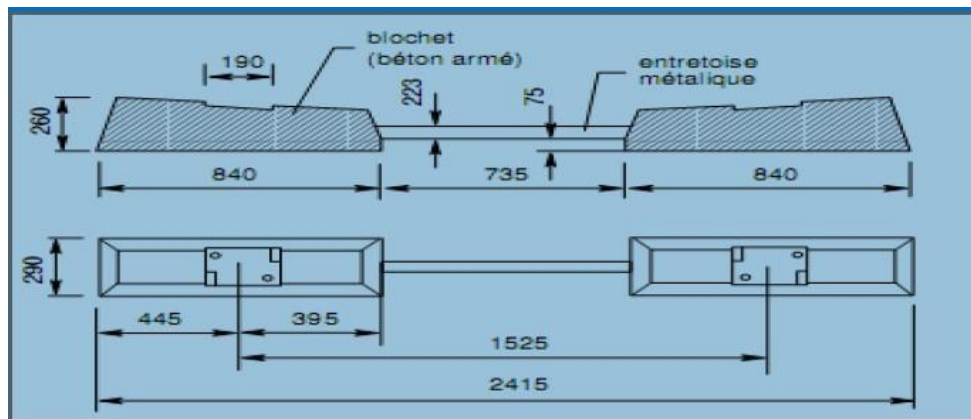


Figure VI .13 : Caractéristiques de la traverse en béton bi-bloc

VI .5.2. 2. Traverses en Monobloc

Fabriquées en béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.



Figure VI .14: Traverse en Monobloc

VI.5.3. Traverses métalliques

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



Figure VI.15 : Traverses métalliques

VI.5.4. Rôle des traverses

Les traverses se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquelles sont posés les rails, elles doivent assurer les fonctions suivantes :

- Réalisation et maintien de l'écartement normal (1435 mm) des rails.
- Répartition et transmission des efforts sur la couche de ballast, à savoir :
 - Charges verticales des essieux ;
 - Forces centrifuges horizontales ;
 - Efforts longitudinaux ;
 - Permettent l'inclinaison de 1/20 aux rails ;
 - Amortissement des vibrations des rails.

N B: On a choisi des travers type monobloc en béton armé

VI .5 .5. Les attaches

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

VI. 5 .5.1. Type d'attaches

Les anciennes attaches étaient pour les traverses en bois, on distingue les crampons puis les tirefonds, le premier type fait mal au patin, le rail alors peut se relever de la traverse, le deuxième est tellement rigide, que le rail peut soulever la traverse en se redressant, pour les traverses métalliques, il s'agit des boulons qui fixent les crapauds sur le patin.

Le développement technologique a permis de concevoir et mettre en œuvre des attaches élastiques qui peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements verticaux, surtout vers le haut, ces déplacements se font sans jeu, sans chocs. Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur. Ce type d'attache est le plus répandu au monde, il convient aux longs rails soudés sur traverses en béton.

VI. 5.5.2. Rôle d'attaches

L'attache doit remplir les rôles suivants :

- Cet effort de serrage ne doit pas trop s'affaiblir en présence des effets vibratoires engendrés à l'approche des charges roulantes ;
- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation ;
- Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages ;
- Le rendement de l'attache (rapport entre l'effort exercé par l'attache sur le rail et l'effort exercé par le dispositif de serrage de l'attache ancré dans la traverse) doit être aussi élevé que possible ;
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains. [10]



Figure VI.16 : Attache de type Nabla

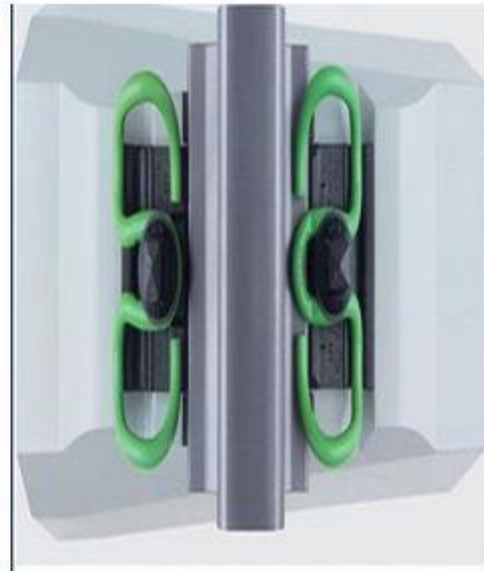


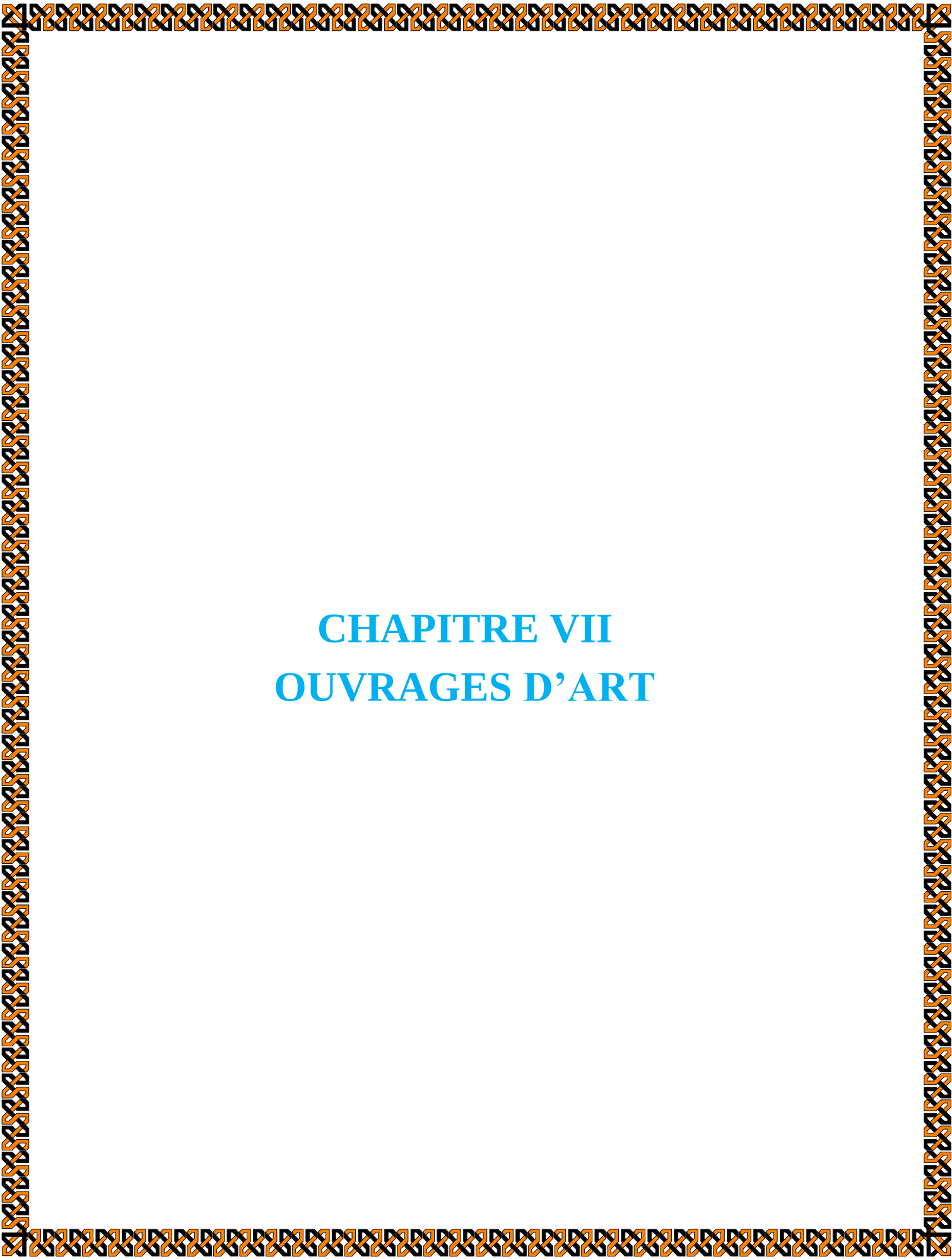
Figure VI .17 : Attache de type vossloh



Figure VI.18 : Les éléments d'une attache de type Nabla.

VI. 6. Conclusion

On peut conclure que la superstructure permet la transmission à la plate-forme (infrastructure) les charges statiques et dynamiques des roues. Nous parlerons dans le prochain chapitre des ouvrages d'art.



CHAPITRE VII

OUVRAGES D'ART

VII .1. Introduction

La démarche de conception des ouvrages d'art sera basée sur l'identification des ouvrages les plus adaptées aux conditions du site et de service, en couvrant tous les aspects à savoir la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages d'art suivants :

- ✓ Ponts Rail ;
- ✓ Ponts routiers ;
- ✓ Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots) ;
- ✓ Tunnels ferroviaires.

VII .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** : Ecoulement des eaux, nature du sol, etc....
- **Exigences techniques** : portées, programme de charge gabarit, etc....

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- La voie portée, ou l'obstacle franchi ;
- Programme de charge ;
- Gabarit ;
- Tirait d'eau ;
- Adaptation architecturale à la région.

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

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur** : Si la vitesse des trains est importante $v=100\text{km/h}$ et si la topographie ne le permet pas.
- **Passage à niveau** : pour les routes de faible débit surtout.
- **Passage inférieur de la route** : rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

VII .3. Description de l'ensemble des ouvrages d'art

VII .3. 1 Définition et catégories des ponts

D'une façon générale, un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc.

La voie portée peut être :

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

VII .3 .2. Les ouvrages de drainages transversal

VII. 3.2.1. Ponts

Un pont est une construction qui permet de franchir un obstacle naturel ou artificiel (dépression, cours d'eau, voie de communication, vallée, ravin, canyon).

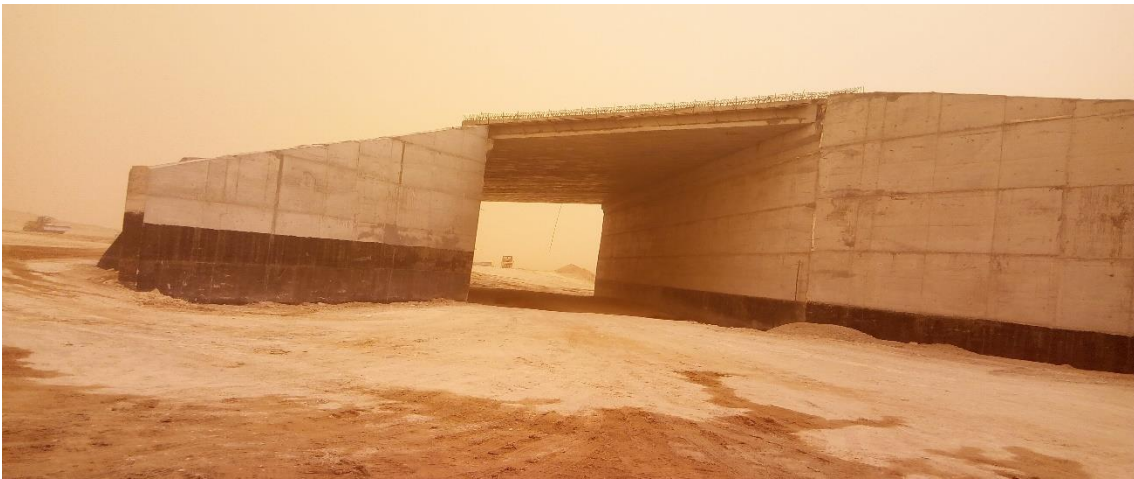


Figure VII .1: Pont ferroviaire

VII .3.2 2. Les ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques sont des ouvrages utilisés pour le franchissement des petits écoulements où le débit hydraulique ne nécessite pas un pont. Pour notre cas, nous utiliserons un dalot qui désigne un petit canal recouvert d'une dalle.

Avantage :

- Economique du point de vue de consommation des matériaux.
- Le coffrage est standard.

- Nécessite un entretien réduit.
- Il peut être préfabriqué.

Inconvénient :

- Consomme plus de béton et d'acier par rapport aux buses métalliques.
- Nécessite une opération de nettoyage avant chaque période de pluie.

Il y a deux types des ouvrages hydrauliques

VII. 3.2 .3. 1. Les buses :

Sont des éléments circulaires préfabriqués en béton armé de dimensions standardisés désignés par le diamètre intérieur de la buse.



Figure VII .2: Une buse

VII. 3.2 .3. 2. Les dalots

Sont des ouvrages d'art réalisés sur site généralement sont constitués d'un radier, de deux murs et d'une dalle ; de forme généralement rectangulaire pour évacuer des débits plus importants que ceux des buses. Ils sont placés sous les remblais. [13]



Figure VII. 3: Dalot sous remblai

VII. 3.2 .3. 3. Les ouvrages d'art de notre projet

Tableau VII.1 : Liste des ouvrages d'art pour notre projet

Situation	Les ouvrages	Type de l'ouvrage	Hauteur Remblai (m)	Longueur (m)
067+168,69	dalot	DALOTS TYPE C1 (1,50m x 2,00m)	1,4344	19,3
067+309,10	dalot	DALOTS TYPE C1 (1,50m x 2,00m)	2,9544	26,7
069+478,59	dalot	DALOTS TYPE C1 (1,50m x 2,00m)	3,3144	17,7

VII .3.3. Les ouvrages de drainage longitudinal

Le fossé est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talutes les eaux de pluie.

➤ **Fosses de drainage au pied des remblais**

Lorsqu'il n'est pas possible de dériver les eaux de pluie sur de vastes surfaces des terrains avoisinants, des fossés de drainage sont aménagés de part et d'autre, au pied du remblai, pour une dérivation contrôlée de ces eaux de pluie.

➤ **Fosses de drainage au pied de talus de déblais**

Ils recueillent les eaux de ruissellement en provenance de la plateforme et du talus. Ils assurent le transit des eaux vers l'exutoire en évitant leur pénétration dans le corps d'assise.

Dans les zones en déblai, des fossés de drainage sont aménagés de part et d'autre de la Plateforme de la voie. Leurs dimensions diffèrent selon les quantités d'eau à évacuer.

➤ **Dispositions constructives :**

Ces fossés sont du type I, II, III ou IV conformément aux quantités d'eau à évacuer. Ils ne sont stabilisés que dans les zones de faible pente pour améliorer l'écoulement et dans les zones de forte pente pour éviter l'érosion.

Ces Fossés sont répartis en 3 parties :

- Type 1 et type 4 : largeur / profondeur = 0,5 / 0,6m, type 4 = 0,5 / 0,5m
- Type 2: largeur / profondeur = 0,7 / 0,7m
- Type 3: largeur / profondeur = 0,8 / 0,9m

La pente des talus est de 1:1.5.

Les fossés stabilisés sont en béton préfabriqué. Les terminologies des désignations sont ci-après :

TYPE-1-R = Fossé terre revêtu de type 1(FTR).

TYPE-2-N = Fossé terre non revêtu de type 2(FT).

Les Fossés terre : FT

- Vitesse maximum = la vitesse d'érosion des matériaux en place.
- Pente longitudinale minimale: 0.002 m/m. Afin d'éviter les problèmes

Les Fossés terre revêtus – FTR

Vitesse maximum = 5 m/s La Pente longitudinale minimale est de 0.002 m/m.

Fossé type 4 revêtu (La dimension minimale suggérée par SNTF)

la section et le périmètre mouillés sont calculés pour

une hauteur de remplissage égale 80% du diamètre. [4]

VII. 4. Conclusion :

On peut conclure que, dans notre tronçon les ouvrages d'art utilisés sont trois dalots qui nécessiteront l'aménagement pour assurer le drainage transversal des eaux il faut prévoir vousse de le la voies assurer le drainage longitudinal.



CHAPITRE VIII

SIGNALISATION FERROVIAIRE

VIII. 1. Introduction

La signalisation ferroviaire est un système d'information qui est destiné au contrôle de la circulation ferroviaire pour assurer la sécurité des usagers des voies ferrées.

Dans ce projet on propose d'utiliser le système européen de surveillance du trafic ferroviaire (Européen Rail Traffic Management System ERTMS). Ce système a permis l'harmonisation de la signalisation ferroviaire européenne.

VIII. 2. Rôle des installations de signalisation

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

- L'espace des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block) ;
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...) ;
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez) ;
- Les risques de déraillement par excès de vitesse ;
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

Les solutions correspondantes mettent en œuvre des dispositifs mécaniques et électriques complétés et régis par des prescriptions réglementaires.

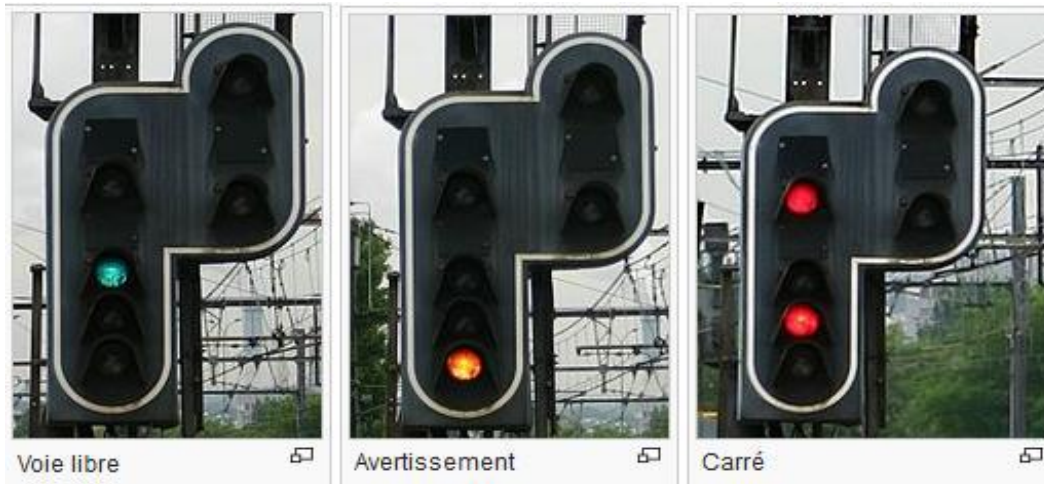


Figure VII .1: Exemple d'une signalisation lumineuse

VIII. 3. Le système européen de contrôle des trains

(En abrégé ETCS, sigle d'Européen Train Control System) est un système innovant de signalisation ferroviaire associé au contrôle de vitesse. C'est une composante du système européen de gestion du trafic ferroviaire (en abrégé ERTMS, sigle d'Européen Rail Traffic

Management System) qui est prévu pour remplacer à terme le grand nombre de signalisations au sol, de systèmes de répétition des signaux et de signalisation en cabine actuellement utilisés sur les différents réseaux de chemins de fer européens.

VIII. 3.1 Objectifs de l'ETCS

L'introduction de l'ETCS doit non seulement simplifier la conduite des trains et rendre plus intelligente et plus sûre la signalisation, mais aussi :

- ✓ Réduire les charges d'investissements et d'entretien des installations fixes (par exemple, les signaux) ;
- ✓ Remplacer les différents systèmes nationaux de protection automatique des trains dans le transport à grande vitesse, et ainsi :
 - Permettre l'interopérabilité des lignes à grande vitesse européennes ;
 - Augmenter la capacité des lignes ;
 - Améliorer la vitesse moyenne des transports.

Ont destiné trois niveaux, en fonction de la manière suivant laquelle l'autorisation de mouvement est fournie au train :

ETCS niveau 1 : le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol ; cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons.

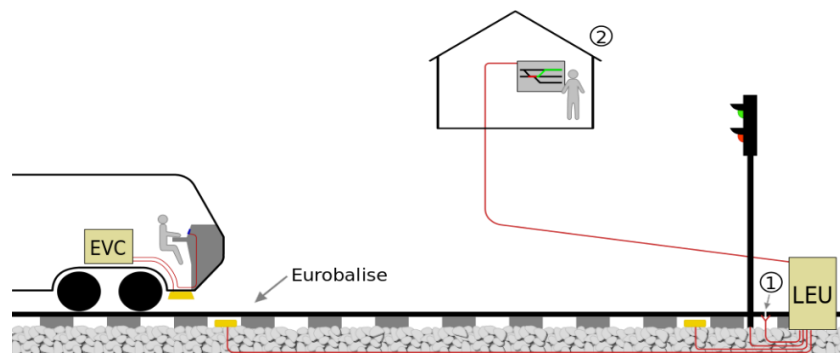


Figure VII .2: ETCS niveau 1

ETCS niveau 2 : le train repère à l'aide des balises au sol, transmet sa position au centre de contrôle via le GSM-R, qui lui communique son autorisation de mouvement en fonction de l'occupation des autres cantons.

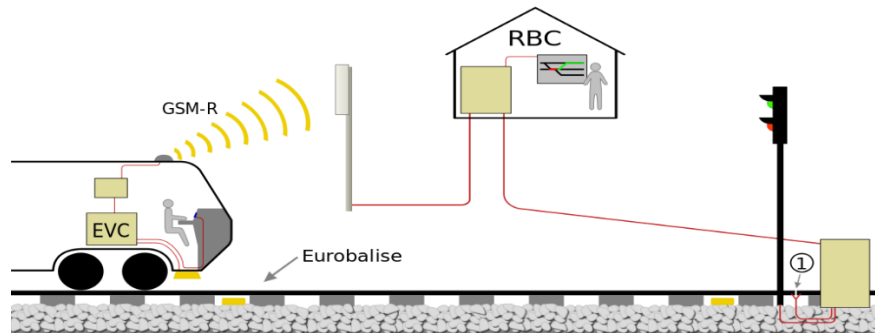


Figure VII .2 : ETCS niveau 2

EVC = Européen Vital Computer (l'ordinateur embarqué)

RBC = Radio Block Centre (la cabine de signalisation informatisée)

(1) = Circuit de voie (ou autre moyen de détection des trains au sol)

ETCS niveau 3 : le train se repère à l'aide des balises au sol, échange ses données avec le centre de contrôle et déterminer lui-même son autorisation de mouvement en fonction de la position des autres trains. [1]

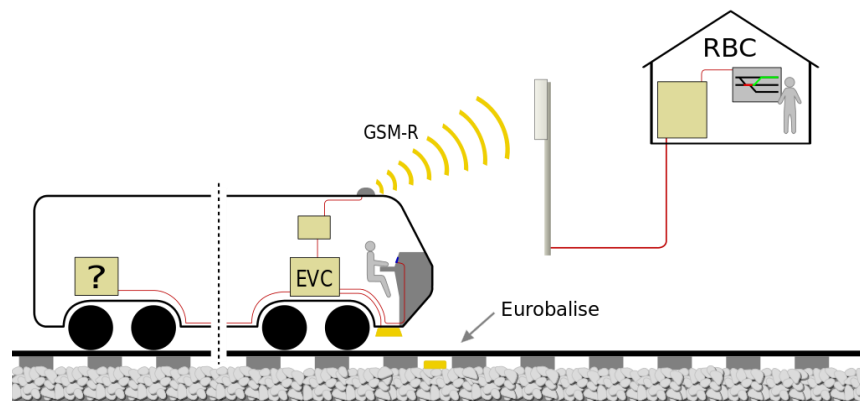


Figure VII .3 : ETCS niveau 3

EVC = Européen Vital Computer

RBC = Radio Block Centre

VIII.4. Type de signalisation

VII.4.1. La signalisation d'arrêt

Tableau VII.1 : Les signalisations d'arrêt

La désignation	Image	Explications
Le carré (C)		Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Utilisé sur les voies principales, sa fonction essentielle est d'assurer la protection des circulations dans les zones comportant des appareils de voie
Le sémaphore		Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est affecté essentiellement à la fonction d'espacement des circulations sur les lignes à double voie et d'espacement et de protection du nez à nez sur certaines lignes à voie unique.
Le feu rouge clignotant		Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est affecté essentiellement à la fonction d'espacement des circulations sur les lignes à double voie et d'espacement et de protection du nez à nez sur certaines lignes à voie unique

VIII. 4.2. La Signalisation d'annonce d'arrêt

Tableau VII.2: Les signalisations d'avertissement d'arrêt

L'avertissement	Image	Explications
L'avertissement (A)		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt (où assimilés) annoncés. L'avertissement est implanté, en principe, à une distance égale ou supérieure à la distance d'arrêt du signal qu'il annonce. Cette distance ne doit cependant pas dépasser 3 000 m.
Le feu jaune clignotant		Lorsque l'avertissement ne peut être implanté à la distance d'arrêt du signal annoncé, il est précédé du feu jaune clignotant qui sera à 500m de l'arrêt.
Le feu vert clignotant ((VL))		Ce signal vient en complément de la signalisation de base normalement établie pour la vitesse maximale de 160 km/h.

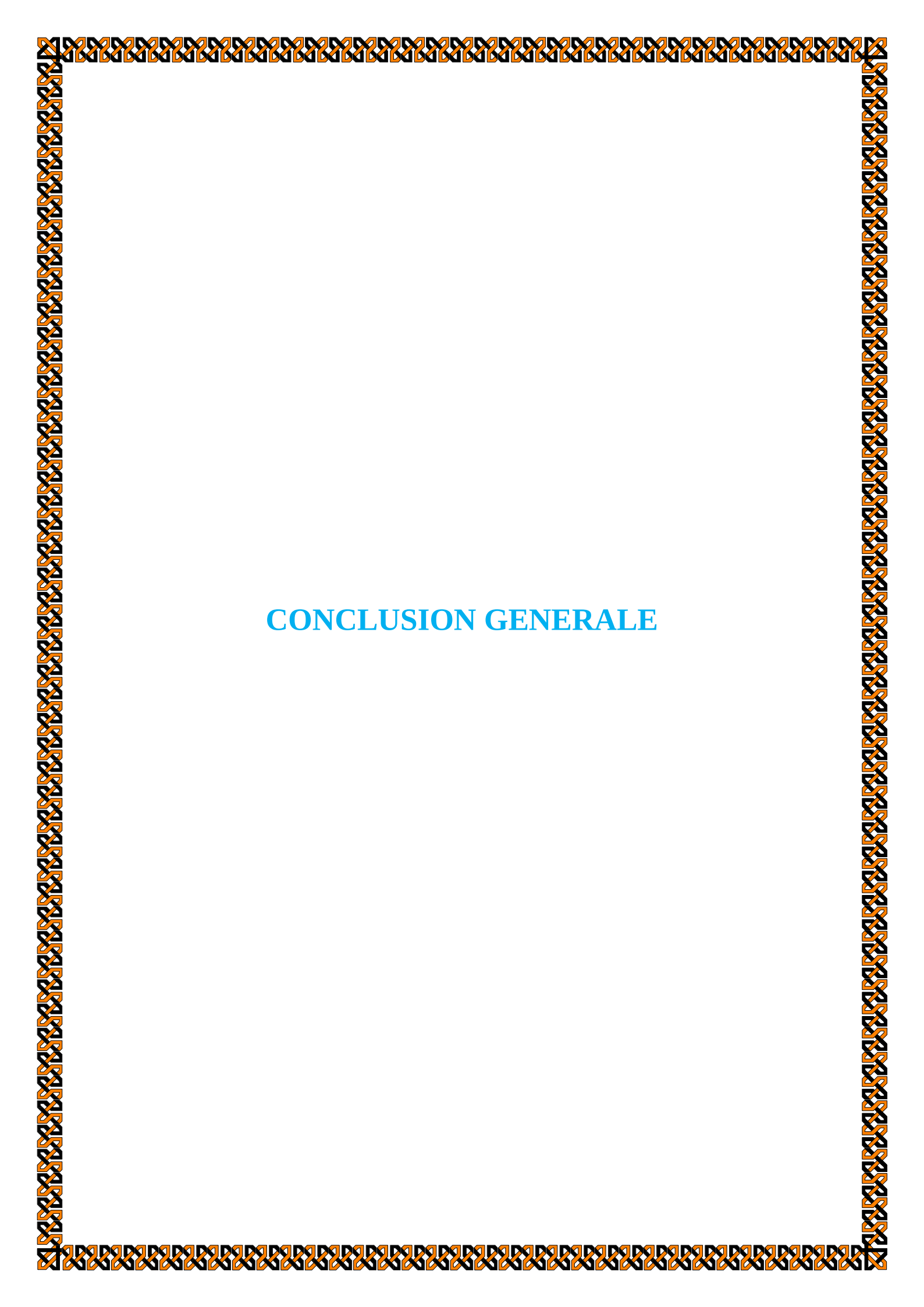
VIII. 4.3 La Signalisation de limitation de vitesse

Tableau VII.3: Les signalisations de limitation des vitesses

Indication	Image	Explications
Limitations Permanentes de vitesse signalisée	 A black rectangular sign with white letters 'Z' and 'R' separated by a vertical line.	Des pancartes «Z» et «R», non éclairées la nuit, à lettre blanche sur fond noir, repèrent l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée.
Vitesse égale à à 30 km/h	 A blue rectangular sign with a black 'R' shape and two yellow dots at the top.	La signalisation comporte un ralentissement 30 (R), présentant deux feux jaunes sur une ligne horizon tale, à distance de ralentissement de la pointe du premier aiguillage pris en pointe.
Vitesse égale à 60 km/h	 A blue rectangular sign with a black 'R' shape and two yellow stars at the top.	Les signaux de ralentissement 60 ((R)) et de rappel de ralentissement 60 (I sont caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés pour constituer respectivement le ralentissement 30 et le rappel 30).
Vitesse supérieure à 60 km/h	 A white diamond-shaped sign with a black border and the number '90' in black.	implanté à distance de ralentissement du premier aiguillage pris en pointe,

VIII.2. Conclusion

Avec l'apparition des outils informatique de plus en plus performante, le domaine de la signalisation ferroviaire s'est beaucoup développé ces dernières années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidents et la facilité de circulation du matériel roulant.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

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

On désigne précisément le transport ferroviaire qui est la future solution de plusieurs problèmes que les autres modes (surtout le transport routier) n'ont pas trouvé à ces problèmes des solutions adéquates tel que les problèmes de circulation, le taux de croissance très élevé ; ce qui signifie un gaspillage des carburants qui influe sur la santé des citoyens, le problème du temps de parcours,...etc.

L'état donc a cherché d'investir dans le domaine de chemin de fer par le lancement des programmes de modernisation des lignes ferroviaires le long de territoire national.

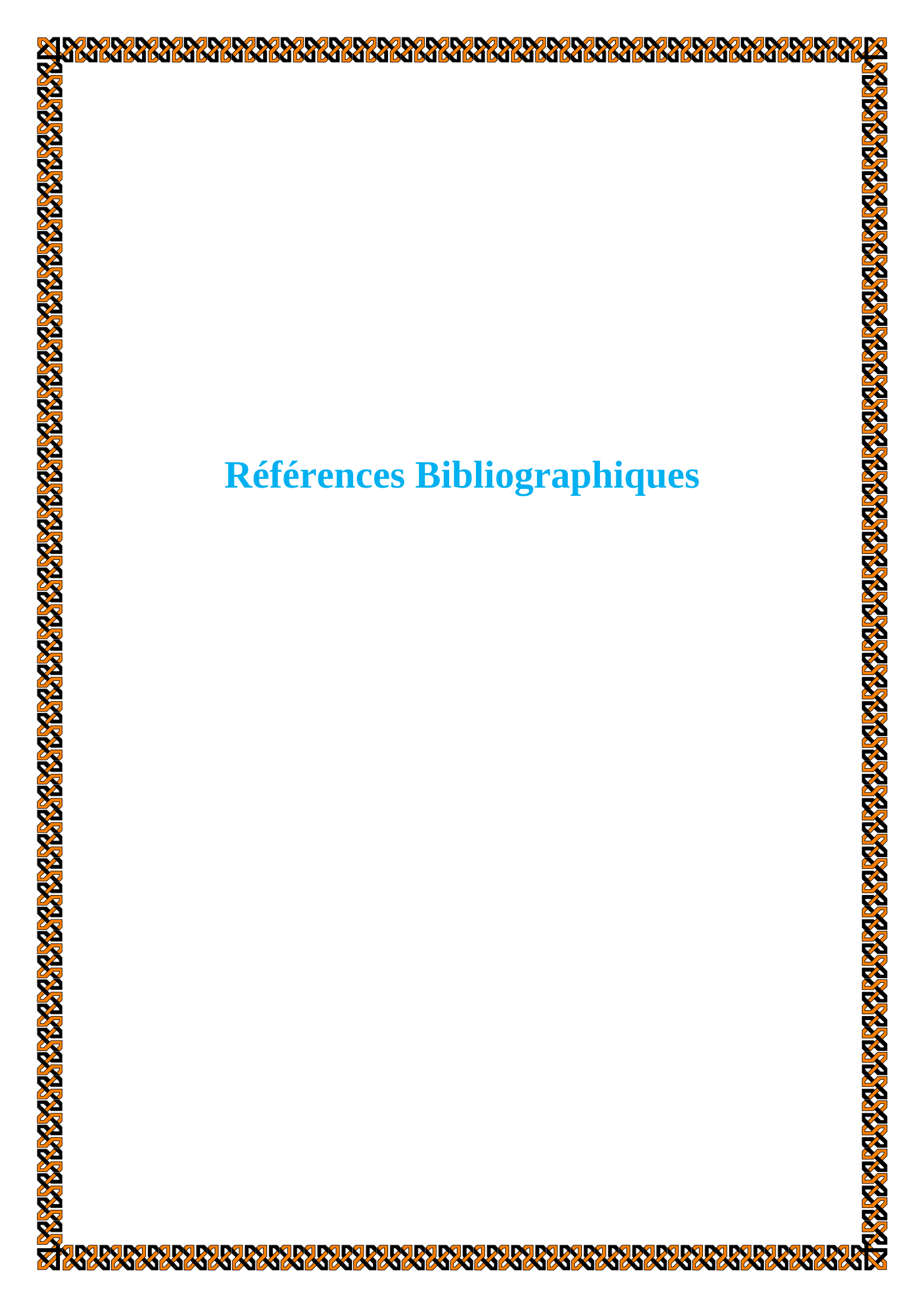
L'étude d'avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa- Laghouat (du pk67+000 au pk 71+000) concerne le tracé en plan, profil en long, profil en travers, le dimensionnement des couches d'assise.

Pour notre étude, nous avons utilisé de logiciel Covadis et Autopiste en respectant toutes les recommandations de la SNTF et l'UIC. Le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'environnement ont été pris en compte dans le tracé.

Les gares de voyageurs et de marchandises ne sont pas étudiées dans ce mémoire. Il sera intérêt de les prendre en compte dans les prochaines PFE.

Ce projet de voie ferrée nous a permis ; non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant les cinq années de notre formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

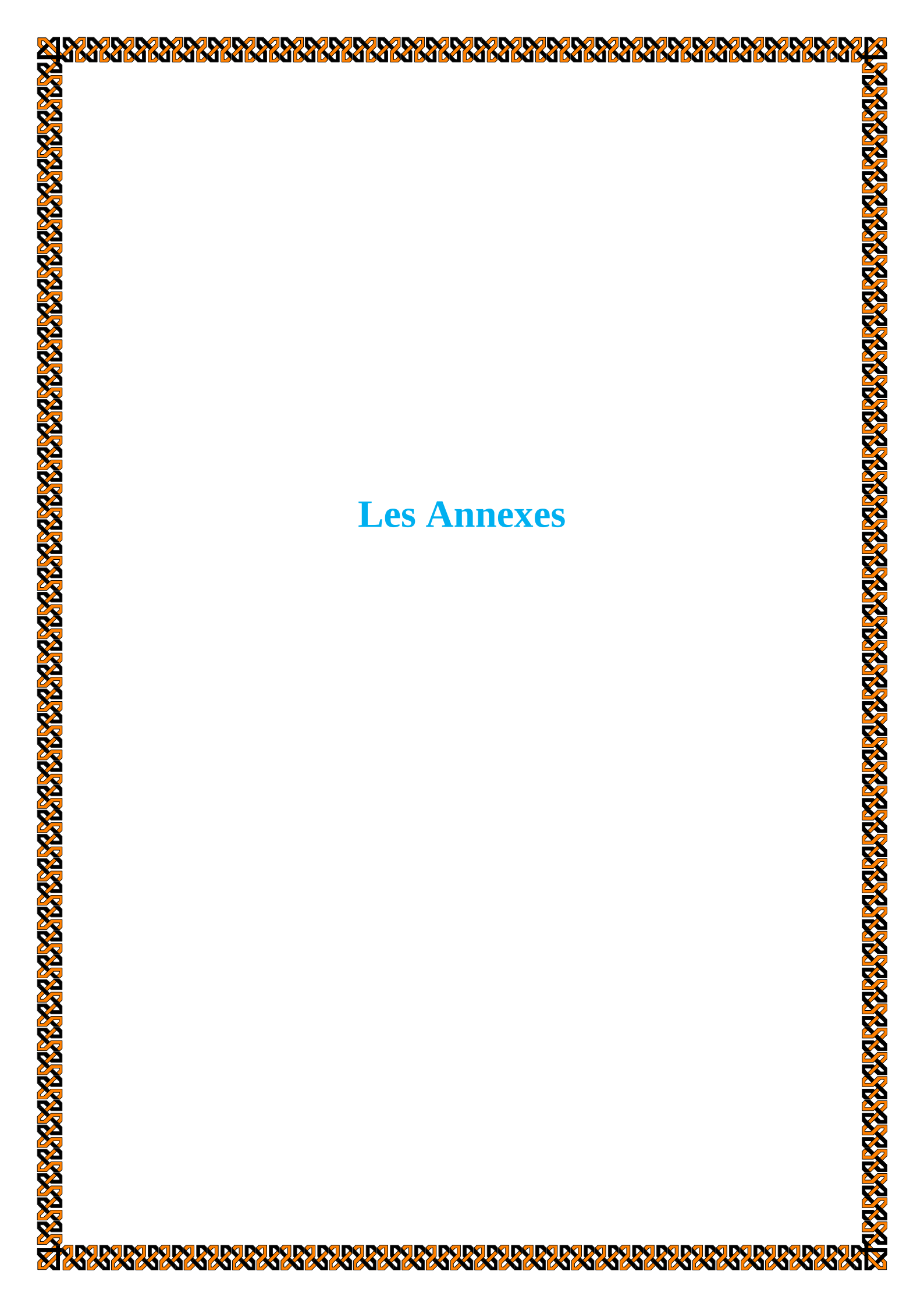
.



Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] MOHAMED, H. MEBEREK, N.2013 Eude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique entre Tosmouline-Elbayadh (du pk 60+000 au pk 85+000Mémoire Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État, École Nationale Supérieure des Travaux Publics Garidi Kouba.
- [2] histories chemins fer in Alg [https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire des chemins de fer algériens](https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_des_chemins_de_fer_algériens) 1 janvier 2021.
- [3] ANESRIF [www.anesrif.dz].
- [4] DAOUADJI, Y. BOUYAHIA, 2015/2016. Eude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa Laghouat (du pk 55+000 au pk 70+000) avec conception de la gare « sidi Makhloof ». Mémoire Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État, École Nationale Supérieure des Travaux Publics Garidi kouba.
- [5] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya de Laghouat](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Laghouat) 7 mars 2021 à 15:56.
- [6] Fiche d'un projet Djelfa Laghouat.
- [7] Étude d'avant-projet détaillé (APD) Ligne nouvelle Djelfa - Laghouat Marché ETG No 1.01.5.5.002.07 W.
- [8] ISFF ROUIBA, LA VOIE-TRACE-DEVERS-RACCORDEMENT.
- [9] Cours de chemins de fer de l'École Nationale Supérieur des Travaux Publics, par Mr. GHAFFAR.
- [10] ZAKARYAN, CH .2014 Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Double Voie Électrifiée (KHEMIS MILIANA- EL AFROUN) (Du pk 116+000 au pk 123+000) Avec L'aménagement de la gare de KHEMIS MILIANA Mémoire Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État, École Nationale Supérieure des Travaux Publics Garidi Kouba.
- [11] La voie ferrée géométrie et trace général (Robert Rivier).
- [12] JEAN A,1984, La voie ferrée-technique de construction et d'entretien,2ème édition ,3963, manutention Paris (page 187-236).
- [13] BARKA ABSAKINE, MPAINAISSEM SAMBIM DANDE. 2016 Etude la ligne ferroviaire bouchegouf –el khroub.
- [14] Roger Rétiveau, LA SIGNALISATION FERROVIAIRE, 2eme édition.
- [15] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Système européen de contrôle des trains](https://fr.wikipedia.org/wiki/Système_européen_de_contrôle_des_trains) 26 novembre 2020.



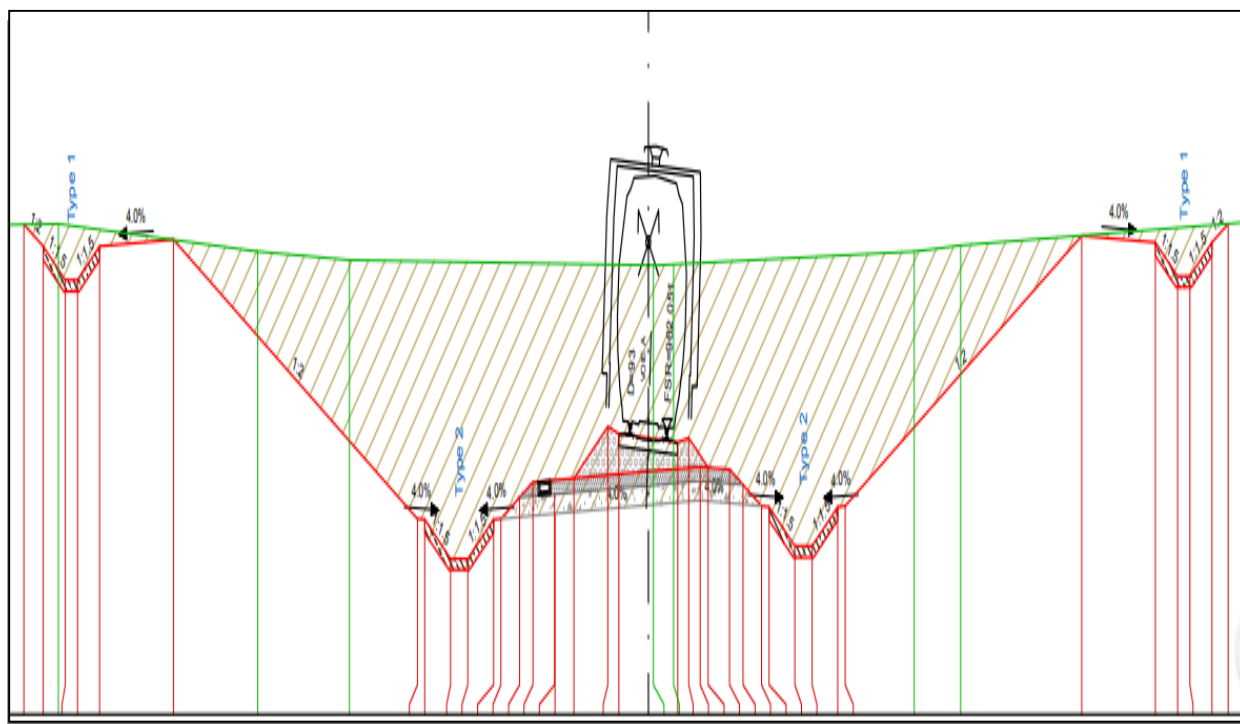
Les Annexes

COVADIS - LISTING DU PROFIL EN LONG DU PROJET

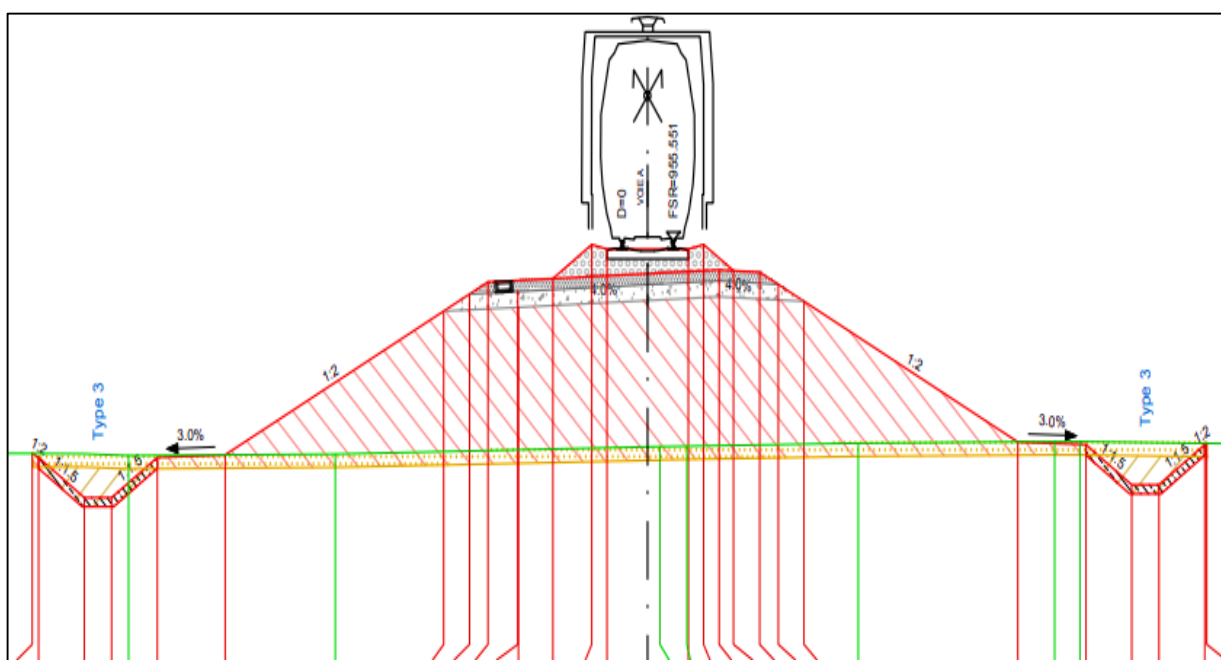
Nom du dessin : C:\Users\laid\Desktop\Nouveau dossier\PFE CHEMAIN DE FER PK 67 AU PK71
 Nom du listing : C:\Users\laid\Desktop\Nouveau dossier\PFE CHEMAIN DE FER PK 67 AU PK71_Axe 01_1_PROJET.rtf
 Date du listing : 29/05/2021 à 13:03:17
 Profil en long : 1
 Courbe projet : Proj 1

Caractéristiques	Long. 2D (m)	Long. 3D (m)	S = Abscisse	Z projet (m)	(X,Y) en plan	Z TN (m)
			67.000	888.163	499606.911, 3775808.496	888.163
Rampe = 1.095 %	1029.954	1030.016				
			1096.954	899.442	499689.225, 3774781.942	912.106
Arc de parabole	249.871	249.875				
Rayon = - 17000.3830						
S haut = 1283.128						
Z haut = 900.462						
			1346.825	900.343	499681.564, 3774532.293	911.739
Pente = -0.375 %	2717.229	2717.248				
			4064.054	890.162	498462.093, 3772144.141	890.162
Longueur totale	3997.054					

1 Profil En Travers Type (Déblai)



2 Profil En Travers Type (remblai)



الاسم واللقب الطلبة : مختاري أحمد، حدي العيد

المؤطر: الأستاذ حجوجة مراد، نواري رشدي

ملخص:

النقل بالسكك الحديدية لعب دائما دورا رئيسيا في التنمية الاقتصادية في معظم البلدان ولكن إهمال هذا النمط من النقل من قبل الدولة الجزائرية سمح للنقل البري بالتطور في أغلب المدن الجزائرية مع أن لهذا الأخير العديد من الآثار السلبية على الكفاءة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. لكن في السنوات الأخيرة عرف قطاع النقل بالسكك الحديدية تطورا ملحوظا بفضل رغبة السلطات و وضعها لبرنامج جديد لعصرنة هذا القطاع و كهربة خطوط السكك الحديدية لتحسين نوعية الخدمة و فك العزلة عن المناطق النائية في البلد و ضمان النمو الاقتصادي والاجتماعي المتوازن. الهدف من هذه المذكرة دراسة خط السكك الحديدية أحادي المسار الذي يربط بين مدينة الجلفة ومدينة الأغواط على مسافة 110 كلم بسرعة 220كلم/ساعة لقطارات الركاب وبسرعة 110كلم/ساعة لقطارات الشحن حيث يمتد المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 67 كلم الى 71 كلم على مسافة 4كلم.

يأخذ هذا العمل في الاعتبار ارتفاع المنطقة المدروسة وفقاً للمعايير الدولية UIC، وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية ، باستخدام برنامج Covadis 2013.

كلمات مفتاحية : خط السكة الحديدية، عارض، مقطع طولي، حصي، السكة.

Memory title: Study of a project for the Djelfa-Laghouat railway line, section from pk 67 + 000 to pk 71 +

First name and Name: Mokhtari ahmed Haddi laid Directed by: Dr. Hadjoudja Mourad,

: Dr Rachidi Nouari

Abstract

Rail transport has always played a key role in the economic development of most countries, but the neglect of this mode of transport by the Algerian state has allowed the road mode to develop in most Algerian cities. This last one constitutes a source of several negative effects on the socio-economic and environmental level which puts the efficiency of the transport service in question.

But the rail transport sector has known in the last years a remarkable development carried by the will of the public authorities by a new program of modernization and electrification of the railways to reinforce the capacity of reception and to open up the remote regions of the country and to ensure a balanced economic and social growth.

This project summarizes the study of the detailed design of a single track railway line linking the city of Djelfa to that of Laghouat over a distance of 110 km, at a speed of 220 km / h for passenger trains, and a speed of 100 km / h for freight trains. The studied section starts from KP 67+000 to KP 71+000 over a distance of 4km.

This work takes into consideration the survey of the studied area according to the international standards UIC, and the Algerian recommendations of SNTF, using the software Covadis 2013.

Key words: Railway line, sleeper, longitudinal profile, ballast, rail.

Titre du mémoire : Etude d'un projet de ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat tronçon du pk 67+000au pk 71+000

Nom et Prénom : Mokhtari Ahmed,

: Haddi Laid

L'Encadreur : Dr Hadjoudja Mourad,

: Dr Rachidi Nouari

Résumé :

Le transport ferroviaire joue depuis toujours un rôle clé dans le développement économique de la plupart des pays, mais la négligence de ce mode de transport par l'état algérienne a permis au mode routier de se développer dans la plus par des villes algériennes.

Ce dernier constitue une source de plusieurs effets négatifs sur le plan socio-économique et environnemental ce qui met l'efficacité du service de transport en question.

Mais le secteur du transport ferroviaire a connu dans les dernières années un développement remarquable porté par la volonté des pouvoirs publics par un nouveau programme de modernisation et l'électrification des voies ferrées pour renfoncer la capacité d'accueil et désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Le présent mémoire synthétise l'étude en avant-projet détaillé d'une ligne ferroviaire à voie unique qui relie la ville de Djelfa à celle de Laghouat sur un linéaire de 110 km, à une vitesse de 220 km/ h pour les trains de voyageurs, et une vitesse de 100 km/ h pour les trains de marchandises. Le tronçon étudié démarre du PK 67+000 au PK 71+000 sur une distance de 4 km.

Ce travail prend en considération le levé de la zone étudiée selon les normes internationales UIC, et les recommandations algériennes de la SNTF, en utilisant le logiciel Covadis 2013.

Mots clés : Ligne ferroviaire, traverse, profil en long, ballast, rail