



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



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE**

**DEPARTEMENT : GÉNIE CIVIL**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par :**

**Boukhalkhal Mohammed Zineddine**

**Boussouar Mohamed Elamine**

**DOMAINE : GÉNIE CIVIL**

**FILIERE : TRAVAUX PUBLICS**

**OPTION : VOIES ET OUVRAGES D'ART**

### **Thème**

**Étude d'un projet de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat tronçon  
du PK 56+000 au PK 63+000**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr.Ziregue .A	MCB	Président
Mr.Bederina .M	Professeur	Examineur
Mr.Hadjoudja .M	MCA	Rapporteur
Mr.Baadj .M	INGÉNIEUR	Co-rapporteur

**Promotion : 2019 / 2020**

## عنوان المذكرة: دراسة خط السكة الحديدية الجلفة – الأغواط بين النقطة الكيلومترية من 56+000 الى 63+000

المؤطر: الأستاذ حجوجة مراد

الاسم واللقب: بوخلخال محمد زين الدين، بوسوار محمد الأمين

### ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة خط السكة الحديدية الجلفة - الأغواط احادي المسار على خط طوله 110 كم. أولاً، قدمنا لمحة عامة عن السكك الحديدية في الجزائر منذ تاريخ إنشائها من قبل الدولة. ثم أجريت دراسة أولية بهدف تصميم خط احادي المسار لربط مدينة الجلفة بمدينة الأغواط بسرعة 220 كم / ساعة لقطارات الركاب وبسرعة 100 كم. / ساعة لقطارات الشحن. يبدأ القسم الذي تمت دراسته من النقطة الكيلومترية 56 PK إلى 63 PK ، على خط مستقيم بطول 7 كم. يأخذ في الاعتبار المعايير الدولية (UIC) لاتحاد الدولي للسكك الحديدية، وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع تمت بواسطة البرنامج "Autopiste. و Covadis 16 ، Autocad 2018" كلمات مفتاحية: دراسة للسكك الحديدية، المقطع طولي، علامات، المقطع العرضي

**Memory title: Study of a Djelfa-Laghouat track railway line between KP 56+000 to KP 63+000**

**First and last name: Boukhalkhal mohammed zineddine , Boussouar Mohamed Elamine**

**Directedby: Mr. hadjoudja mourad**

### Abstract

The objective of this work is to study the djelfa-laghouat single-track railway line on a linear of 110 km. Firstly, we presented an historic overview of the railway in Algeria since its creation by the state. Then a preliminary study was carried out with the aim of designing a single track line in order to connect the city of djelfa to the city of laghouat, at a speed of 220 km / h for passenger trains, and a speed of 100 km / h for freight trains. The section studied begins from KP 56 to KP 63, on a 7 km railway a linear. this work takes into account the international standards UIC (international union of railways), the geometric modeling of the project was carried out the using "Autocad 2018, Covadis 16 and Autopiste" software.

**Keywords:** railway study, long profiles, signaling, cross profiles.

**Titre du mémoire : Étude d'un projet de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat tronçon du PK 56+000 au PK 63+000**

**nom et prénom : Boukhalkhal mohammed zineddine , Boussouar Mohamed Elamine**

**Encadreur : Mr. hadjoudja mourad**

### Résumé

L'objectif poursuivi par ce travail est de faire l'étude de la ligne ferroviaire à voie unique Djelfa-Laghouat sur un linéaire 110 km. Dans un premier lieu nous avons présenté un aperçu sur l'historique chemin de fer en Algérie depuis sa création par l'état. Ensuite une étude préliminaire a été réalisée dans le but de concevoir une ligne à voie unique afin de relier la ville de Djelfa à la ville de Laghouat, 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 commence du PK 56 au PK 63, sur un linéaire de 7 km. Ce travail prend en considération les normes international UIC (Union International de chemin de fer), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel «Autocad 2018 , Covadis 16 et Autopiste».

**Mots clés :** étude ferroviaire, profils en long, signalisations, profils travers.



# TABLE DES MATIÈRES

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
RESUME	
DÉDICACES	
REMERCIEMENT	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
NOTATIONS ET SYMBOLES	
	<b>01</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	
<b>CHAPITER. I. GENERALITES SUR LES VOIES FERREES</b>	
1. INTRODUCTION	<b>04</b>
2. HISTORIQUE	<b>04</b>
2.1. EN MONDE	<b>04</b>
2.2. EN ALGERIE	<b>06</b>
3. RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN	<b>07</b>
3.1. CONSISTANCE DU RESEAU FERROVIAIR	<b>07</b>
3.2. STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION	<b>09</b>
3.3.LES GRANDS AXES DU PLAN DE MODERNISATION DU RAIL EN ALGERIE	<b>10</b>
3.4. RESEAU DE LA ROCAD	<b>10</b>
4. AVANTAGES DES CHEMINS DE FER	<b>11</b>
5. CONCLUSION	<b>12</b>
<b>CHAPITRE. II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU PROJET</b>	
1. INTRODUCTION	<b>14</b>
2. PRESENTATION DE LA VILLE DE LAGHOUAT	<b>15</b>
3. SITUATION DEMOGRAPHIQUE	<b>15</b>
4. RELIEF	<b>15</b>
5.CLIMAT	<b>15</b>
6. LIGNE FERROVIAIRE DJELFA-LAGHOUAT	<b>16</b>
6.1. PRESENTATION DU TRONÇON ETUDIE	<b>16</b>
6.2. OBJECTIFS DU PROJET	<b>16</b>
6.3. DONNEES DU PROJET	<b>17</b>
7. LOGICIEL AUTOPISTE	<b>17</b>
7.1. PRESENTATION DU LOGICIEL DES DIFFERENTS MENUS	<b>18</b>

7.2. AUTOPISTE GERE LES COUCHES GEOLOGIQUES	18
8.UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER	19
8.1. STRUCTURE	19
8.2. MISSION	20
9. CONCLUSION	20

### **CHAPITRE. III. ETUDE GEOMETRIQUE DES VOIES FERREES**

1.TRACE EN PLAN	22
1.1. INTRODUCTION	22
1.2. CONDITIONS ET REGLES DE TRACE	22
1.3. ELEMENTS DE TRACE EN PLAN	22
1.4. COURBE ET CONDITIONS DE RACCORDEMENT	23
1.4.1. La Clothoïde	23
1.4.2. Conditions De Raccordement	24
1.4.3. Le Devers	24
1.4.3.1. Le Devers Théorique	25
1.4.3.2. Le Devers Pratique (Normal)	25
1.4.3.3. L'insuffisance De Devers	25
1.4.3.4. L'excès De Devers	25
1.4.3.5. Coefficient De Devers	26
1.5. LONGUEUR MINIMUM DES ELEMENTS DE TRACE	26
1.6. RAYON MINIMUM DE L'ALIGNEMENT CIRCULAIRE	26
1.7. RACCORDEMENT DE DEVERS	27
1.8. APPLICATION AU PROJET	28
<b>2.PROFIL EN LONG</b>	<b>30</b>
2.1 INTRODUCTION	30
2.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG	31
2.3. DECLIVITE MAXIMALE	31
2.4. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG	32
2.5. LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG	32
2.6. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN	33
2.7. APLICATION OU PROJET	34
<b>3. LE PROFIL EN TRAVERS</b>	<b>36</b>
3.1. INTRODUCTION	36
3.1.1. Profil en travers type	36
3.1.2. Profil en travers courant	36
3.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS	37
4. CONCLUSION	39

## **CHAPITRE.IV .LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE FERREE**

1. INTRODUCTION	41
2. CATEGORIES DE LA VOIE	41
3.LES RAILS	41
3.1. DESCRIPTION	41
3.2. TYPE DE RAIL	42
3.3. FABRICATION DU RAIL	43
3.4.INCLINAISON DU RAIL	43
3.5. ECARTEMENT DES RAILS	44
3.6 DEFAUT DES RAILS	44
4.LES LONGS RAILS SOUDES (LRS)	44
4.1. SOUDAGE PAR FORGEAGE ELECTRIQUE	45
4.1.1. Procédure	45
4.1.2. Avantages	45
4.2. AVANTAGES ET CONVENIENTS DES LRS	46
4.2.1. Les principaux avantages des LRS	46
4.2.2. Les principaux inconvénients des LRS	46
5. APLICATION POUR NOTRE PREJET	46
6.TRAVERSE	48
6.1. TRAVERS EN BOIS	48
6.2. TRAVERS EN BETON ARME	49
6.2.1. Travers en bi bloc	49
6.2.2. Travers en monobloc	50
6.3. TRAVERS METALLIQUES	50
6.4. ROLE DES TRAVERSES	51
6.5LES ATTACHES	51
6.5.1. Type D'attaches	51
6.5.2. Rôle D'attache	52
7.CONCLUSION	53

## **CHAPITRE V : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE**

1. INTRODUCTION	55
2. GEOLOGIQUE	55
2.1. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE	55
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL	56
2.3. SISMICITE	57
3. GEOTECHNIQUES	57
3.1.PROGRAMME DE LA COMPAGNE DE RECONNAISSANCE	58
3.2. PUIITS DE RECONNAISSANCE	58

3.3. SONDAGES CAROTTES	59
3.4. LES ESSAIS EN LABORATOIRE	62
3.4.1. Essais Physiques	62
3.4.2. Essais D'identification	63
3.4.3. Essais Mécaniques	64
3.5. LES RESULTATS DES ESSAIS	65
3.6. INTERPRETATION DES RESULTATS	67
4. CONCLUSION	68

## **CHAPITRE .VI .TERRASSEMENTS ET COUCHE D'ASISES**

<b>1. TERRASSEMENT</b>	<b>70</b>
1.1. DEBLAI	70
1.2. REMBLAI	71
1.3. CALCUL DES CUBATURES	71
<b>2. COUCHE D'ASSISES</b>	<b>72</b>
2.1. INTRODUCTION	72
2.2. LES DIFFERENTES COUCHES D'ASSISES	72
2.2.1. La Couche De Ballast	73
2.2.2. La Sous-Couche	74
2.2.2.1. Constitution De La Sous Couche	74
2.2.2.2. Les Rôles De La Sous-Couche Sont Multiples	75
2.2.3. La Couche De Forme	75
2.3. DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISES	75
2.3.1. Classification De La Plate-Forme	76
2.3.2. Classe De Qualité Du Sol Selon L'uic (Fiche Uic 719r)	76
2.3.3. Classes De Portance De Plateforme	76
2.3.4. Calcul Des Epaisseurs Minimales Des Couches D'assise	77
2.3.5. Les Paramètres De Dimensionnement : E, A, B, C, D, F, G	78
3. APPLICATION AU PROJET	79
4. CONCLUSION	80

## **CHAPITRE. VII. OUVRAGE D'ART ET SIGNALIZATION FERROVIER**

1. OUVRAGE D'ART	82
1.1. INTRODUCTION	82
1.2. INFLUENCE SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE	82
1.3. DEFINITION ET CATEGORIES DES PONTS	83
1.4. LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET	83
1.5. OUVRAGE D'ART TYPE DALOT	84
1.5.1 Dimensions D'un Ouvrage D'art	84
1.5.2. Les Plants De L'Ouvrage De Type (Dallot C1)	85

2. LA SIGNALLISATION FERROVAIRE	87
2.1 INTRODUCTION	87
2.2 ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION	88
2.3.SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS (ERTMS)	88
2.3.1objectifs De L'etcs	88
2.4. TYPE DE SIGNALISATION	91
2.4.1. La Signalisation D'arrêt	91
2.4.2. La Signalisation D'annonce D'arrêt	92
2.4.3. La Signalisation De Limitation De Vitesse	93
3. CONCLUSION	94
CONCLUSION GENERALE	96
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	98
ANNEXE	100

## LISTE DE TABLEAUX

	page
<b>Tableau III.1</b> : longueur minimal à respecter	26
<b>Tableau III.2</b> : Paramètres de tracé pour notre projet (source fiche UIC 703R)	28
<b>Tableau III.3</b> : Calcul récapitulatif des éléments géométriques	30
<b>Tableau III.4</b> : Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)	32
<b>Tableau III.5</b> : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter	33
<b>Tableau V.1</b> : classe de des zones sismiques	57
<b>Tableau V.2</b> : Implantation et description des puits	58
<b>Tableau V.3</b> : Implantation et description des sondages (1)	59
<b>Tableau V.4</b> : Implantation et description des sondages (2)	61
<b>Tableau V.5</b> : Résultats des essais de laboratoire	65
<b>Tableau V.6</b> : Résultats des essais de laboratoire	66
<b>Tableau V.7</b> : Résultats des essais de laboratoire	67
<b>Tableau VI.1</b> : Caractéristiques des déblais	70
<b>Tableau VI.2</b> : Caractéristiques des remblais	71
<b>Tableau VI.3</b> : les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.	72
<b>Tableau VI.4</b> : Les épaisseurs des différentes couches	78
<b>Tableau VI.5</b> :les épaisseurs des différentes couches	80
<b>Tableau VII.1</b> : Liste des ouvrages d'art pour notre projet	83
<b>Tableau VII.2</b> : Caractéristique technique de l'ouvrage dalot c1	84
<b>Tableau VII.3</b> : les signalisations d'arrêt	91
<b>Tableau VII.4</b> : Les signalisations d'avertissement d'arrêt	92
<b>Tableau VII.5</b> : Les signalisations de limitation des vitesses	93

# LISTE DES FIGURES

	page
<b>Figure I.1</b> : Les infrastructures de transport ferroviaire	5
<b>Figure I.2</b> : Carte du réseau ferroviaire Algérien. (Source Anesrif)	8
<b>Figure I.3</b> : Lignes ferroviaires en cours de travaux. (Source Anesrif)	10
<b>Figure II.1</b> : Localisation de notre projet	14
<b>Figure II.2</b> : Le tronçon de notre projet	16
<b>Figure III.1</b> : Eléments du tracé en plan	23
<b>Figure III.2</b> : le dévers théorique	25
<b>Figure III.3</b> : Raccordement de dévers	27
<b>Figure III.4</b> : Eléments géométriques du profil en long	31
<b>Figure III.5</b> : Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)	32
<b>Figure III.6</b> : Schéma du raccordement circulaire	33
<b>Figure III.7</b> : Exemple profil en travers type	37
<b>Figure III.8</b> : la voie	38
<b>Figure IV.1</b> : Rail a patin (Vignole)	42
<b>Figure IV.2</b> : Rail à gorge	43
<b>Figure IV.3</b> : Rail DC (double)	43
<b>Figure IV.4</b> : Inclinaison du rail	43
<b>Figure IV.5</b> : L'écartement entre les rails	44
<b>Figure IV.6</b> : photo d'une barre soudée	45
<b>Figure IV.7</b> : caractéristique techniques du profile	47
<b>Figure IV.8</b> : caractéristiques géométrique du profile	48
<b>Figure IV.9</b> : caractéristique géométriques du l'éclisse du rail	48
<b>Figure IV.10</b> : Travers en bois	49
<b>Figure IV.11</b> : Travers en Bi bloc	49
<b>Figure IV.12</b> : éléments du Travers en béton bi-blocs	49
<b>Figure IV.13</b> : Caractéristiques de la traverse en béton bi-bloc	50
<b>Figure IV.14</b> : Travers en Monobloc	50
<b>Figure IV.15</b> : Travers métalliques	51
<b>Figure IV.16</b> : attache de type Nabla	52
<b>Figure IV.17</b> : attache de type vossloh	52
<b>Figure IV.18</b> : Les éléments d'une attache de type Nabla.	53
<b>Figure V.1</b> : Zone de plaine (PK 63 + 500)	56
<b>Figure V.2</b> : Caisse N° 01 (0,00 à 10,07 m)	60
<b>Figure V.3</b> : Caisse N° 02 (10,07 à 14,50 m)	60
<b>Figure V.4</b> : Caisse N° 03 (14,50 à 15,30 m)	60
<b>Figure V.5</b> : Caisse N° 01 (0,00 à 4,85 m)	61
<b>Figure V.6</b> : Caisse N° 02 (4,85 à 9,72 m)	61
<b>Figure V.7</b> : Caisse N° 03 (9,72 à 14,50 m)	62
<b>Figure V.8</b> : Caisse N° 04 (14,55 à 15,15 m)	62
<b>Figure V.9</b> : consistence des sols plastiques	68
<b>Figure VI.1</b> : les différentes couches d'assises.	73
<b>Figure VI.2</b> : couches d'assise	77
<b>Figure VI.3</b> : Les couches de corps d'assise	80

<b>Figure VII.1</b> : Travaux ouvrage d'art (type dalot)	<b>84</b>
<b>Figure VII.2</b> : Coupe longitudinale (A-A)	<b>85</b>
<b>Figure VII.3</b> : Coupe transversale (B-B)	<b>85</b>
<b>Figure VII.4</b> : Détail de mur de tête	<b>86</b>
<b>Figure VII.5</b> : Dalot simple –C1	<b>87</b>
<b>Figure VII.6</b> : signaux ferroviaire	<b>88</b>
<b>Figure VII.7</b> : ETCS niveau 1	<b>89</b>
<b>Figure VII.8</b> : ETCS niveau 2	<b>90</b>
<b>Figure VII.9</b> : ETCS niveau 3	<b>90</b>

## REMÈRCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur **Mr. Mourad HADJOUJA**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nous remercions vivement notre Co-encadreur **Mr. Baadj Madani** pour son encadrement exceptionnel, à sa confiance, à son soutien incessant et à son encouragement permanent.

Nous remercions vivement **Mr.rachid mellal** pour son soutien et encouragement.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin notre remerciement vont également aux enseignants qui ont contribué à notre formation.

# Dédicace

*A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle  
trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.*

*à mon père , pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur*

*A mes frères, mes grands parents et Ceux qui ont partagé avec moi tous les  
moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement  
supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de  
succès.*

*A tous ceux que j'aime.*

*Merci !*



**Boussouar Mohamed el amine**

# *Dédicace*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier  
comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide  
et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour  
affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.  
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*A mes chère sœurs*

*Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*Boukhalkhal mohammed zineddine*

## NOTATIONS ET SYMBOLES

Symbol	Designation	Unite
Vl	vitesse des trains lents (marchandises)	km/h
Vr	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
dth	Devers théorique	mm
R	rayon de courbe	m
V	vitesse	km/h
dp	Dévers pratique	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
Vmax	Vitesse des trains de voyageurs (maximal)	Km/h
E	Excès de dévers	mm
Vmin	Vitesse des trains de marchandises (minimal )	Km/h
C	Coefficient de dévers	-
Drmin	Devers de rayon minimal	m
Dmax	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 <sup>2</sup>
T	Tangents	m
Pstat	La charge statique	t
Pdyn	La charge dynamique	t
Mmax	Moment maximal	Kg.cm
Mmoy	Moment moyenne	Kg.cm
$\sigma$	Condition de résistance	Mpa
$\sigma'$	Condition de résistance admissible	Mpa
$W_{xx}$	Moment d'inertie	cm <sup>4</sup>
$W_L$	Limite de liquidité	-
$I_p$	Indices de plasticité	-
$I_c$	Indices de consistance	-
$W_s$	Poids du sol sec	Kg
$\gamma$	Masse volumique	kN/m <sup>3</sup>
$W_n$	Teneur en eau naturel	-
QSi	Classe du sol (UIC)	-
Pi	Classe de la plateforme	-
< 80 $\mu$ m	Pourcentage des tamis 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	-



# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Le transport ferroviaire apparaît clairement comme un facteur clé pour le développement économique et social des pays, tant par ses caractéristiques propres (possibilité de présence sur l'ensemble du territoire, capacité de création d'emplois etc.) que du fait de son impact sur les autres activités régionales.

L'Algérie étant un pays en cours de développement, a restée longtemps en retard pour ce qui est du transport ferroviaire, mais face a des problèmes de croissance démographique les pouvoirs publics ont décidé d'investir dans le domaine ferroviaire, plusieurs programmes ont été mis en place pour la construction de nouvelles lignes ainsi la modernisation des anciennes.

Parmi ces projets, la nouvelle ligne ferroviaire voie unique (DJELFA-LAGHOUAT) qui vise à desservir la région en offrant une ligne moderne électrifiée à grande vitesse sur une distance de 110 km.

Notre projet de fin d'étude s'inscrit dans le cadre de l'étude technique correspond à la liaison ferroviaire reliant la ville de Djelfa à Laghouat sur un tronçon du PK 56+000 au PK 63+000 sur un linéaire de 7 km.

Pour mieux mener notre travail, nous avons choisi de le structurer en sept chapitres. Le premier chapitre est consacré a des généralités du chemin de fer en Algérie avec quelques historiques où on s'intéressera à l'importance du transport ferroviaire dans le développement économique régional.

Dans le second chapitre nous poursuivrons par la présentation du projet de la ligne ferroviaire DJELFA-LAGHOUAT dont nous allons essayer de présenter les étapes de réalisation ainsi que ses caractéristiques.

Dans le troisième chapitre, nous nous intéresserons à l'étude géométrique de la voie ferrée afin de faire un tracé économique pour ce tronçon.

Le quatrième chapitre on a présenté la superstructure de la voie ferrée qui comprennent les rails, les travers, les attaches ainsi que le dimensionnement des rails et les choix d'un profil convenable.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

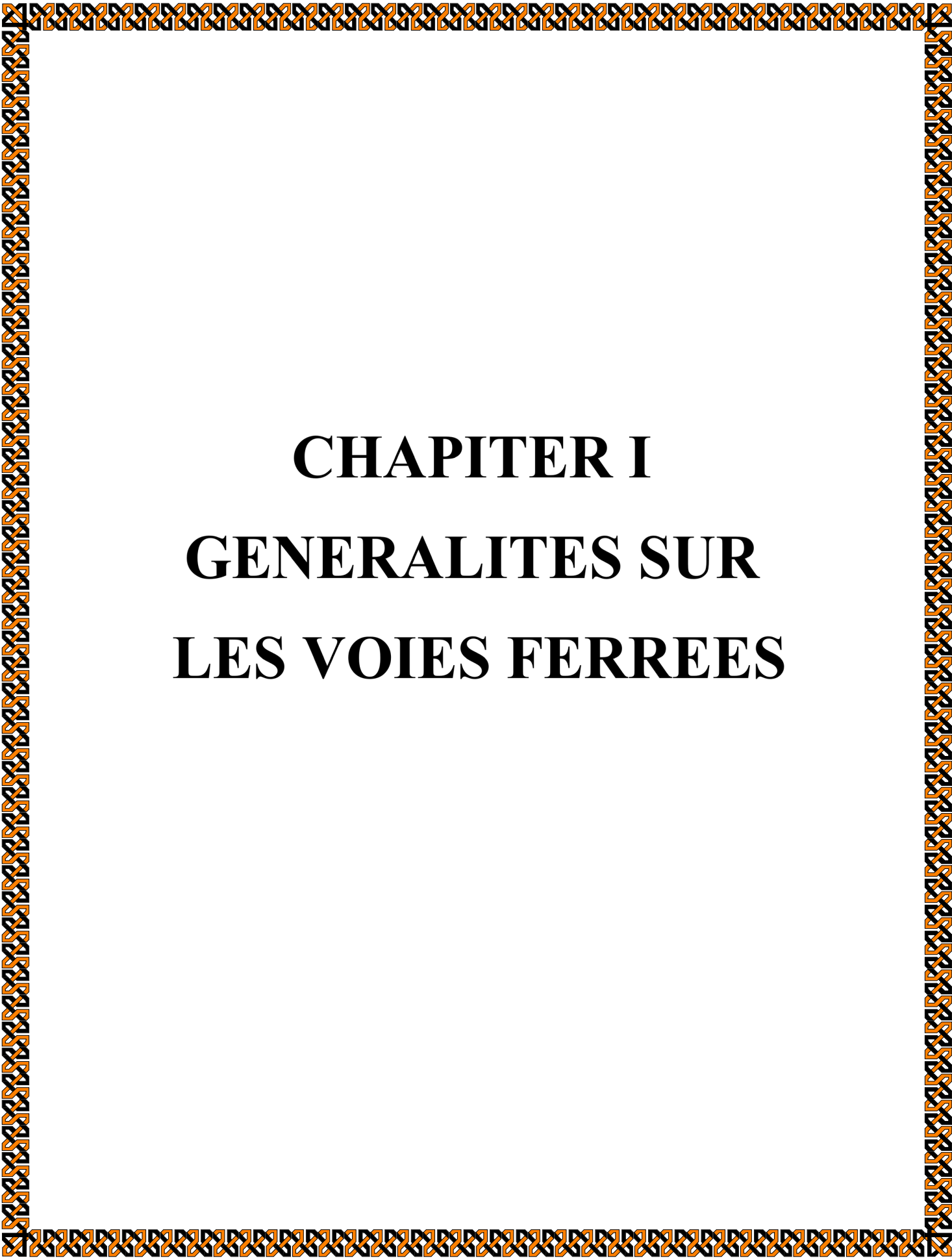
---

Dans le cinquième 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 appliqués dans la zone étudiée.

Dans le sixième chapitre terrassements et couche d'assise nous a permis de calculer les zones de déblais et des remblais, et de déterminer l'épaisseur optimal des différentes couches d'assise.

Enfin, en septième chapitre on a parlé de la signalisation ferroviaire ainsi que les différents ouvrages présents dans le tronçon étudié.

Notre mémoire s'achève par une conclusion générale relative aux acquis durant nos études tout le long de notre cursus universitaire et lors de l'élaboration de ce mémoire.



# **CHAPITER I**

## **GENERALITES SUR**

### **LES VOIES FERREES**

## **1. INTRODUCTION**

Le transport représente un des piliers fondamentaux du développement durable et de la prospérité de tout pays. Des systèmes de transport efficaces et des réseaux modernes sont donc une nécessité pour le développement économique, le bien-être social, la production à grande échelle, et la préservation de l'environnement. Il contribue également à l'amélioration du niveau de vie des sociétés en facilitant la mobilité de la population.

Le chemin de fer est un système de transport guidé servant au transport de personnes et de marchandises. Il se compose d'une infrastructure spéciale, de matériel roulant et de procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain

L'infrastructure est composée essentiellement de deux files de rails posés sur des traverses appelée voie ferrées, des appareils de voie, des passages inférieurs et supérieurs, de la signalisation et, le cas échéant des installations de traction électrique (sous-stations, caténaires, ...etc.).

Le matériel roulant circule communément en convois, appelé trains ou rames. Les convois sont tractés par des locomotives, ou sont autotractés ; on parlera alors de rame automotrice (électrique) ou d'autorail (diesel)

Le chemin de fer fait appel au roulement acier sur acier, les roues étant munies d'un boudin garantissant le maintien des véhicules sur les rails. Ce système est utilisé aussi par des déclinaisons considérées généralement comme des chemins de fer spécialisé : métros, tramways, chemins de fer à crémaillère.

Enfin, le chemin de fer présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi qu'il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement des territoires.

## **2. HISTORIQUE**

### **2.1. EN MONDE**

L'un des premiers exemples de chemin guidé est celui du Diolkos, un système permettant aux bateaux de franchir l'isthme de Corinthe en Grèce, construit au vie siècle av. J.-C. Des chariots poussés par des esclaves. Et par des bêtes de somme circulaient dans des blocs de pierre entaillés. Ce « chemin de fer » primitif a fonctionné approximativement jusqu'en l'an 900

Les premiers wagons tractés par des chevaux sont apparus en grèce et dans l'empire romain aux alentours de l'an 1, utilisant eux aussi une voie constituée de pierres entaillées.



**Figure I.1** : Les infrastructures de transport ferroviaire

La réapparition des transports guidés a eu lieu en Europe aux alentours de 1550, pour des voies minières. Celles-ci utilisaient des rails de bois. La première voie ferrée a été établie au Royaume-Uni au début du XVII<sup>e</sup> 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. Les rails étaient constitués de bois nu, les roues étaient munies de boudins, comme sur les véhicules ferroviaires actuels. En 1768, la compagnie Coalbrookdale eut l'idée de remplacer ses rails en bois par des rails en fonte moulée, pour limiter l'usure de la voie et transporter de plus lourdes charges.

Les rails d'acier sont apparus au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. L'ingénieur William Jessop conçut des rails prévus pour être utilisés avec des roues sans boudin : ils constituaient une sorte de cornière. Ces rails devaient être utilisés pour un projet dans le secteur de Loughborough, Leicestershire en 1789. En 1790 il était de ceux qui fondèrent une aciérie à Butterley, Derbyshire pour produire des rails (entre autres). Le premier chemin de fer ouvert au public a été le Surrey Iron Railway, ouvert en 1802 par Jessop. Les convois étaient tractés par des chevaux. La première locomotive à vapeur a fonctionné sur des rails a été construite par Richard Trevithick et essayée en 1804 à

Merthyr Tydfil au Pays de Galles. Cette tentative ne fut pas couronnée de succès, l'engin étant si lourd qu'il brisait la voie.

En 1811, John Blenkinsop conçut la première locomotive réellement utilisable. Il fit breveter. Un système de transport du charbon mû par une locomotive à vapeur. La ligne fut construite, raccordant Middleton Colliery à Leeds. La locomotive a été construite par Matthew Murray de fenton, Murray and Wood. Le Middleton Railway fut donc le premier chemin de fer à utiliser la vapeur avec succès dans un objectif commercial. C'est également le premier à faire l'objet d'actes juridiques

Le premier réseau voit le jour en europe continentale dans la région de saint-etienne, en france, entre 1827 (Louis-Antoine Beaunier) et 1830 (Marc Seguin). En europe et en amérique du nord, la période de plus grand développement du chemin de fer va de 1848 à 1914. Après la Première Guerre mondiale, le chemin de fer continue à se développer, notamment les lignes secondaires à voie étroite, mais il est fortement concurrencé, sur les courtes distances, par l'automobile et le camion. Après la Seconde Guerre mondiale arrive la concurrence de l'avion sur les longues distances ; les lignes secondaires disparaissent.

La crise pétrolière de 1973 marque le début du renouveau du chemin de fer, principalement pour les transports de voyageurs à l'intérieur des grandes métropoles et grâce à de nouvelles lignes inter cités, parcourues par des trains à grande vitesse.

La sustentation magnétique (dite Maglev) dont une ligne de 43 km a été mise en exploitation en 2005 à Shanghai (Chine) peut devenir un concurrent viable.

## **2.2 EN ALGERIE**

L'histoire des chemins de fer d'Algérie commence le 8 avril 1857, avec un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1357 km de chemins de fer dans la colonie d'algérie. Le premier chantier, démarré le 12 décembre 1859, porte sur la construction de la ligne Alger - Blida. La gestion en est confiée à une compagnie privée : la Compagnie des chemins de fer algériens. Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-denis-du-Sig ainsi que sur liaison avec le port de Philippeville - l'actuel skikda- et avec Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger, qui a été ouvert le 8 septembre 1862. Cinq autres compagnies sont créées pour construire les lignes restantes : la Compagnie Bône-Guelma (BG), la Compagnie de l'est algérien (EA), la compagnie Paris-lyon méditerranée (PLM), la compagnie de l'Ouest algérien (OA) et la Compagnies franco algérienne.

L'objectif des 1357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1 365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'algérie. 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 1747 km au réseau existant. La construction de

ces lignes dites "d'intérêt local" est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente ans qui suivirent, 2 035 km de ligne chemin de fer vont s'ajouter au réseau, constituant l'armature du futur réseau ferroviaire algérien.

En 1900 la Compagnie franco-Algérienne, endettée, perd sa concession ; le même sort touche la compagnie Bône-Guelma en 1905 puis celle de l'Est Algérien en 1908. À partir du 27 septembre 1912 les réseaux des compagnies en faillite passent sous le contrôle de la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'État (CFAE), qui s'appuie sur la compagnie survivante, la filiale algérienne de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée la PLMA.

Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau. Le 1 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 SNCF. La gestion des lignes algériennes est alors confiée à compter du 1 janvier 1939 à l'office des Chemins de fer Algériens (OCFA). A la fin de la deuxième guerre mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5 015 km. Le 30 juin 1959 l'État français et l'OCFA signent une convention créant la compagnie des chemins de Fer français en algérie (CCFA) qui devient en 1963 la SNCFA (Société Nationale des chemins de fer algériens) Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts :

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

### **3. RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN**

#### **3.1. CONSISTANCE DU RESEAU FERROVIAIRE**

Le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui parmi le plus moderne d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. Actuellement ce réseau couvre 30 wilayas et s'étend sur 4498 km dont

- Lignes en exploitation : 3750 km ;
- Lignes en double voie : 553 km ;
- Lignes en voie unique : 3217 km ;
- Lignes électrifiés : 323 km.

#### **Ce réseau comporte**

- 175 gares en exploitation ;
- 215 haltes en exploitation ;
- 553 ouvrages d'art dont l'ouverture est supérieure à 10 m ;
- 5279 ouvrages d'art dont l'ouverture est inférieure à 10 m ;

- 139 tunnels avec un linéaire total de 40km ;
- 267 passages à niveau gardé et 959 passages à niveau non gardé.

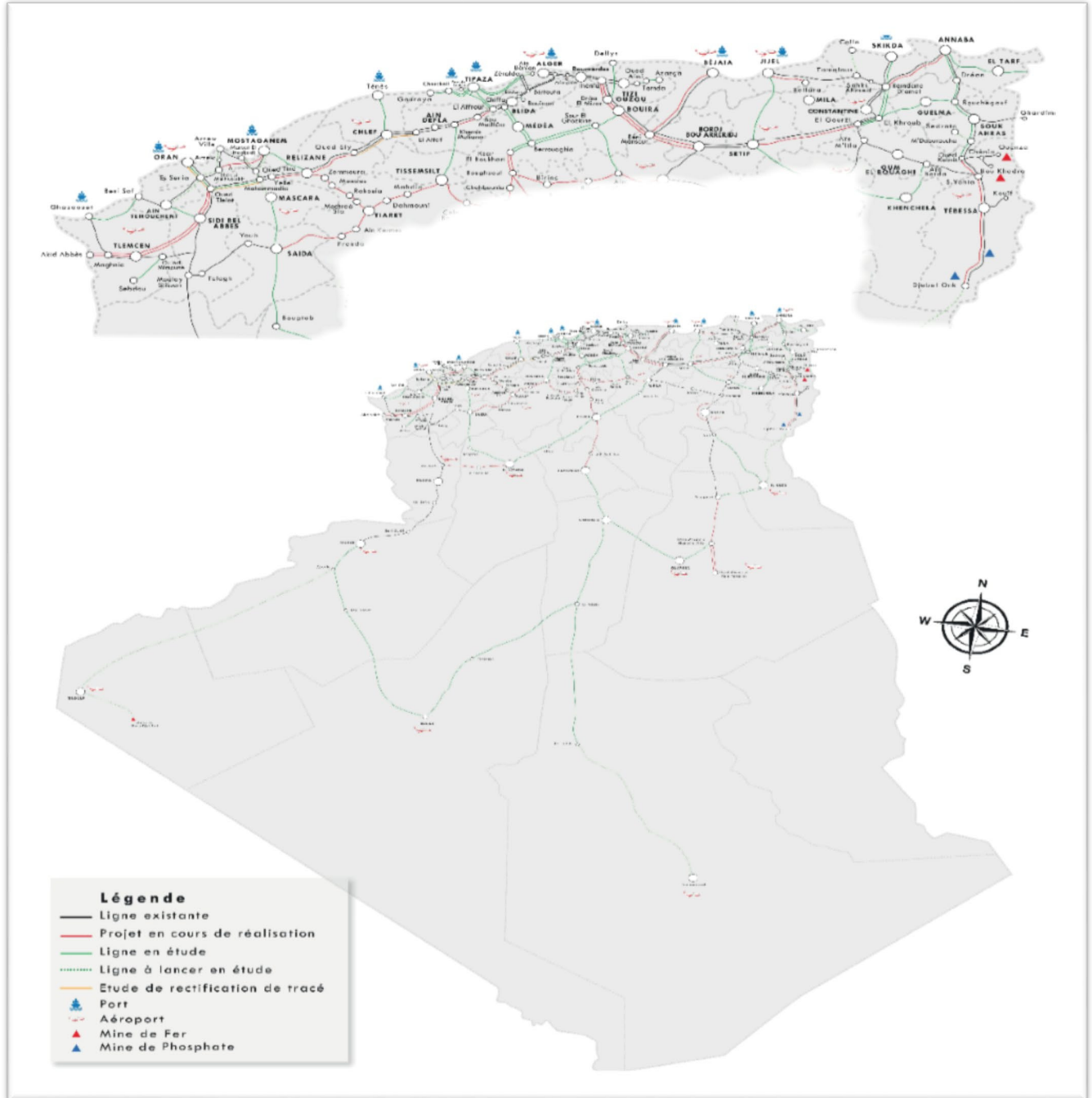


Figure I.2 : Carte du réseau ferroviaire Algérien. Source Anesrif

**Il assure le transport de****➤ Voyageurs :**

- Nombre de voyageurs transportés par an : 36 216 111 voyageurs ;
- Grandes lignes : 845 708 ;
- Régional : 2 028 542 ;
- Banlieue : 33 341 861.

**➤ Marchandises :**

- Nombre de tonnages transportés : 4 198 674 T ;
- Nombre de tonnages/km : 928 058 000 T/km.
- Nombre de trains /jour sur l'ensemble du réseau 242 avec
- Grandes lignes : 12
- Régional : 68
- Banlieue : 162

**3.2. STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION**

Intéresse par le développement de transport ferroviaire, le gouvernement algérien ont met en place une politique qui a pour but de réduire les temps de parcours des trains dans les différentes lignes, désenclaver de nombreuses régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant et augmenter le tonnage à transporter en marchandises à travers le chemin de fer.

L'algérie compte arriver à une capacité de transport par rail de 17 millions de tonnes de marchandises et 16 millions de passagers par an à l'horizon 2025. Pour cela, le gouvernement algérien veut accélérer la modernisation et l'extension du réseau ferroviaire national afin de désenclaver durablement les régions reculées.

Ce plan prévoit l'introduction des systèmes modernes de communication et de signalisation, le doublement de plusieurs voies ferroviaires, la rénovation du parc roulant ainsi que la formation et le recrutement du personnel.

Le réseau ferroviaire algérien est passé de 1 800 km en 2000 à environ 4 200 km. Il devrait atteindre à court terme un linéaire de 6 300 km et 12 500 km à l'horizon 2030. Pour atteindre ces objectifs, un programme d'investissement de 30 milliards de dollars a été engagé depuis 2004 afin de :

- Modernisation des infrastructures ferroviaires ;
- Modernisation du matériel roulant ferroviaire par l'acquisition de nouvelles locomotives (diesel, diesel électriques, Autorails, ...) ;
- Remise en état du matériel roulant avec la réhabilitation des voitures de transport de voyageurs ;
- Mise en place d'équipements modernes de télécommunication et de signalisation.

3.3.LES GRANDS AXES DU PLAN DE MODERNISATION DU RAIL EN ALGERIE

- 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.

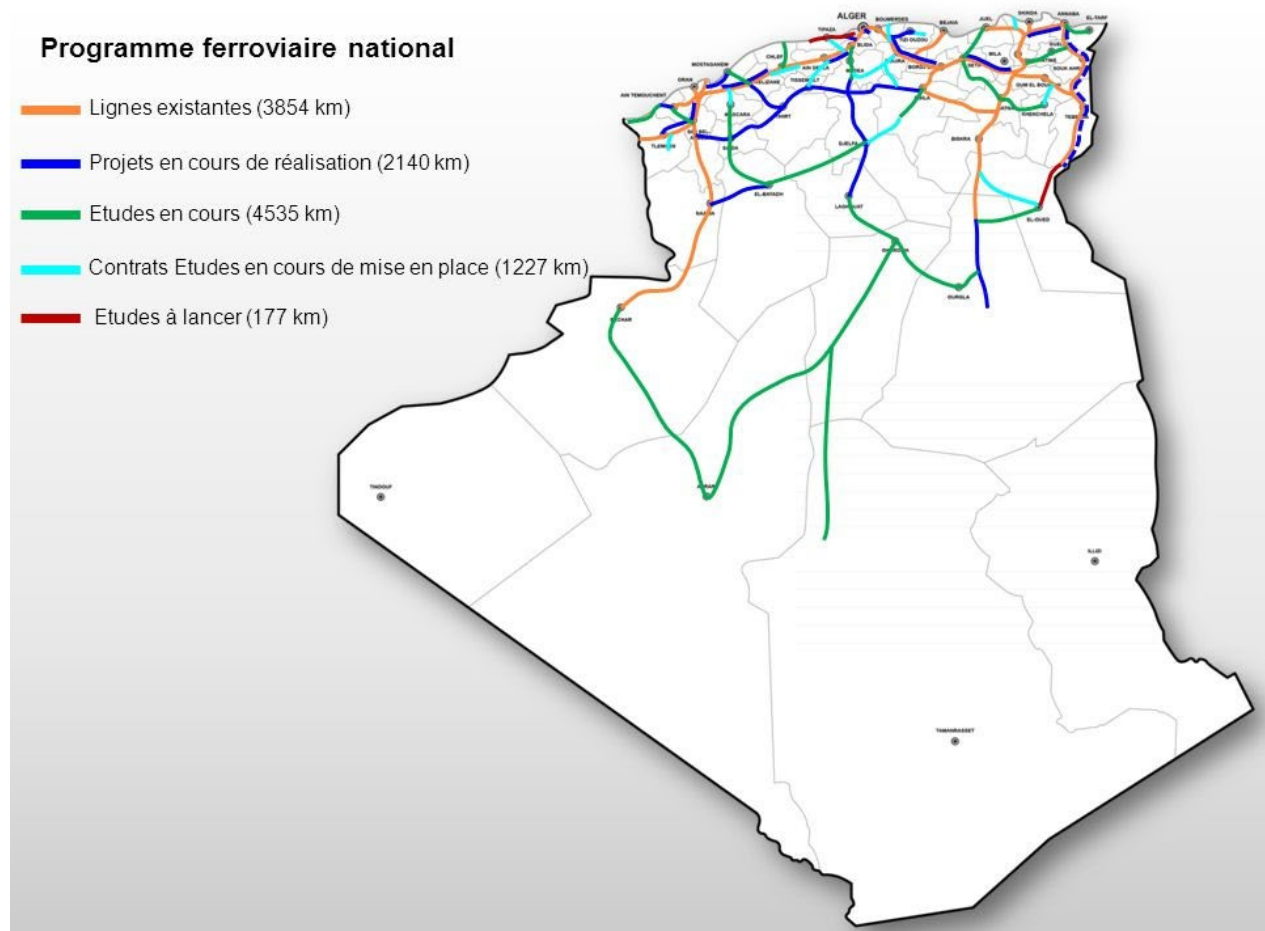


Figure I.3 : Lignes ferroviaires en cours de travaux. (Source Anesrif)

3.4. RESEAU DE LA ROCAD

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'sila boughzoul sur plus de 151 km ;
- Création de la ligne boughzoul - tessemssilt - tiaret - saida, sur plus de 130 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 ;
- Création 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 - tebessa - djebel onk ;

#### **4. AVANTAGES 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) et peut même concurrencer l'avion vue les grandes Vitesses atteintes par le TGV ;
- Il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures ;
- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport ;
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire ;
- Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route ;
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires ;
- Gain de temps, confort et sécurité ;
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

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 confère le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle.

**5. CONCLUSION**

On peut conclure que l'algérie est très en retard en ce qui concerne le développement des chemins de fer, surtout dans les régions sud.

Il est plus que nécessaire, de favoriser ce secteur très vitale pour le développement et l'amélioration des conditions de l'investissement et du commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays.



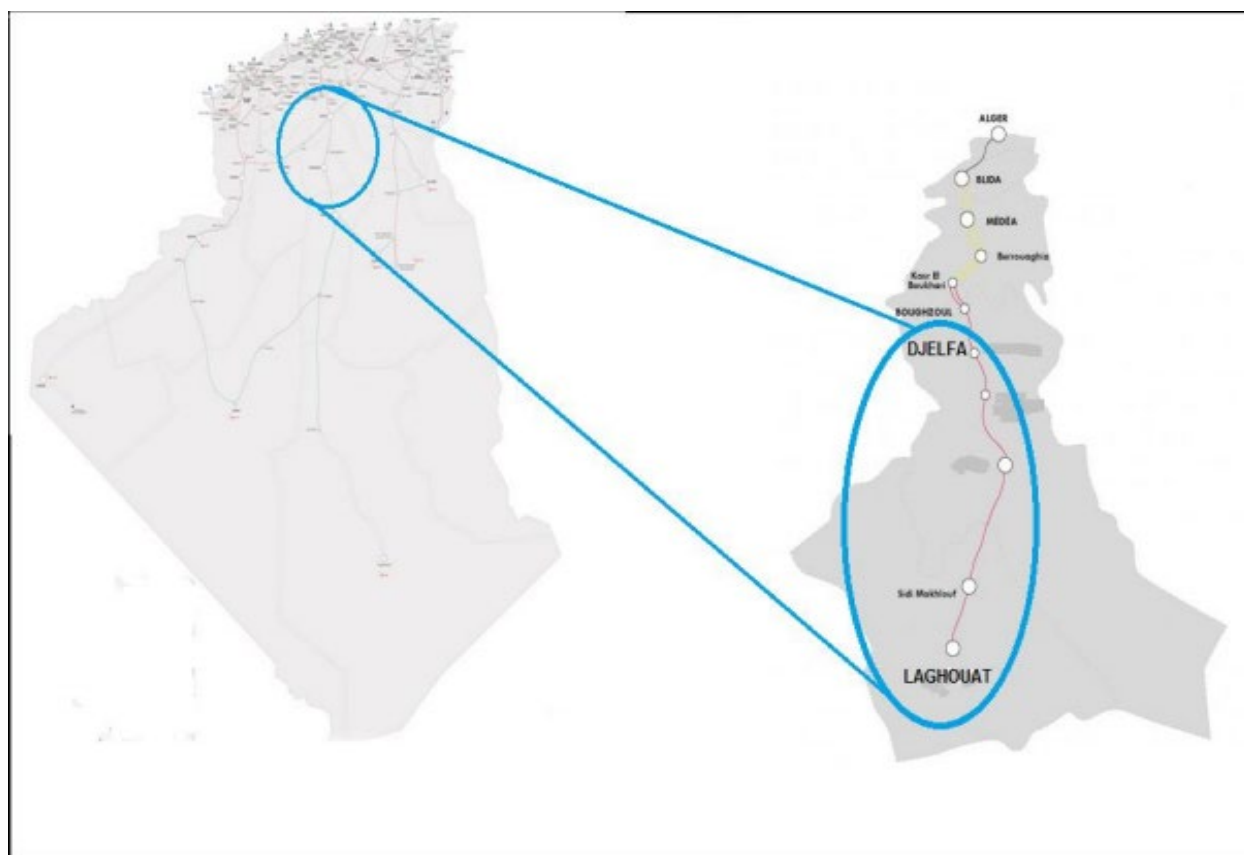
**CHAPITRE II**  
**PRESENTATION DE**  
**LA ZONE D'ETUDE ET**  
**DU ROJET**

### 1. INTRODUCTION

Le transport ferroviaire 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.

Le tracé de la ligne à réaliser se situe au sud de l'Algérie. La ligne raccorde la ville de djelfa à la ville de Laghouat permettant ainsi d'assurer la continuité de la réalisation de la boucle du Sud vers Ghardaïa, sur une distance 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

La nouvelle ligne sera construite selon les standards UIC à voie unique. Le nouveau tracé se raccorde à la gare mixte de djelfa, la gare voyageuse de Laghouat ainsi qu'à la gare marchandises de Laghouat en passant par la Halte de Sidi Makhlouf.



**Figure II.1** : Localisation de notre projet

## **CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU ROJET**

---

### **2. PRESENTATION DE LA VILLE DE LAGHOUAT**

Située au centre du pays à 400 km au sud d'alger, la wilaya de Laghouat s'étend sur une superficie de 25 000 km<sup>2</sup>. Région pastorale de l'Algérie, elle possède également le plus grand gisement de gaz naturel situé à Hassi Rmel. Géographiquement elle est limitée par :

- Au nord : Tiaret ;
- A l'Est : Djelfa ;
- A l'Ouest : El Beyedh ;
- Au Sud : Ghardaïa ;

Cinq communes sont considérées comme urbaines : Laghouat, Aflou, Ain Madhi, Hassi Rmel et Ksar el Hirane. La wilaya de Laghouat compte 10 daïras : Aflou, Aïn Mahdi, Brida, El Ghicha, Gueltet Sidi Saâd, Laghouat, Oued Morra, Sidi Makhloof.

### **3. SITUATION DEMOGRAPHIQUE**

La wilaya comptait une population estimée à 603 876 habitants en 2014. Soit une densité de 24 habitants par Km<sup>2</sup>.

### **4. RELIEF**

La Wilaya se distingue par deux zones distinctes : La zone de l'Atlas saharien caractérisée par des altitudes allant de 1.000 à 1.700m avec 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 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.

### **5. CLIMAT**

Découlant du relief, le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches.

Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable. En moyenne la température à Laghouat 17.2 °C.

### 6. LIGNE FERROVIAIRE DJELFA-LAGHOUAT

#### 6.1. PRESENTATION DU TRONÇON ETUDIE :

le début de ce tronçon (pk 56) se trouve juste a côté de frontier de wilaya de laghouat-djelfa a côté droite de la rn1 en venant de djelfa i'll Ya une seul rayon (virage) au moite de cette tronçon, la fin de cette tronçon(pk63) ce trouve en périphérie de la commune de sidi makhloof, l'objectif de cette étude est de faire un tracé économique qui doit répondre aux critères et aux normes internationales des chemins de fer.



Figure II.2: Le tronçon de notre projet

#### 6.2. OBJECTIFS DU PROJET

Ce tracé doit répondre aux objectifs économiques et aux besoins de la région, de plus il doit Respecter les normes nationales et internationales des chemins de fer. Vise dans sa globalité les objectifs suivants :

- Assurer la liaison rapide entre les agglomérations ;
- L'amélioration des performances du chemin de fer ;
- Relèvement du niveau de compétitivité du transport ferroviaire ;
- Desservir, sidi makhloof et laghouat ;
- Permettre aux citoyens de se déplacer entre le nord et le sud dans de bonnes conditions ;
- Améliorer le développement économique.

### 6.3. DONNEES DU PROJET

#### ➤ Caractéristiques générales

- **Ligne mixte** : voyageurs – marchandises
- **Type de ligne** : voie unique électrifiée.
- **Ecartement de la voie** : 1,435 m.
- **Type de rail** : rail S 18
- **Mode de traction** : diesel.
- **Traverses** : monobloc en béton armé.
- **Vitesses** : - vitesses max des trains voyageurs : 220 km/h ;  
- vitesses max des trains marchandise : 110 km/h.
- **Largeurs de plate-former** : 8m
- **Charges à l'essieu** : - infrastructure : 22,5 T ;  
- ouvrages d'art : 25 T.
- **Longueur total** : 110 km.

### 7. LOGICIEL AUTOPISTE

Autopiste est un applicatif complémentaire à covadis, spécialement dédié aux bureaux d'études en conception d'infrastructures de transport linéaires (routes, autoroutes, rails, tramway). Le package logiciel covadis + autopiste permet de traiter une étude d'infrastructure routière de sa phase initiale (importation des données du terrain) à sa phase finale (intégration du projet en 3d, plans d'exécution, quantitatifs, métrés et bordereaux vrd).

Plus de 60 conseils généraux utilisent déjà covadis et autopiste pour leurs projets de conception de routes, ou de renforcement de chaussées existantes.

Autopiste intègre notamment les fonctionnalités suivantes :

#### 7.1. PRESENTATION DU LOGICIEL DES DIFFERENTS MENUS

- Autopiste permet de définir un projet à partir de la conception interactive d'un axe en plan.

#### **Nouvel objet axe en plan**

- Modification simple et interactive de l'axe en plan ;

## **CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU ROJET**

---

- Aide à la conception selon les normes de l'ARP, de l'ICTAAL et de l'ICTAVRU. Il alerte le projecteur lorsque ces normes ne sont pas respectées ;
- Choix de la méthode d'implantation des tabulations ;
- Gestion des tabulations secondaires ;
- Profils en Long TN ;
- Représentation des fossés, des canalisations et des regards sur le profil en long.

### **Les demi-profils types**

- Les profils types par couches : une méthode rapide.
- Les profils types par points : une méthode orientée voirie.
- Gérer les contraintes par suivi de « lignes d'appuis ».
- Modifier ponctuellement le projet.
- Compléter votre bibliothèque de profils types.

### **7.2. AUTOPISTE GERE LES COUCHES GEOLOGIQUES**

- Gérer automatiquement votre bibliothèque de matériaux.
- Modification de la pente des talus selon la couche géologique traversée.
- Représentation des couches géologiques sur tous les éléments.
- La définition des couches géologiques est réalisée en fonction des données à votre disposition.
- Les volumes de déblai dans chacune des couches géologiques.

### **Nouvel objet courbe projet**

- Un module complet de reprise de chaussée existante.
- Décaissements automatiques.
- Calcul de reprofilage et épaisseur minimale.

## **CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU ROJET**

---

- Optimisation du renforcement.
- Visualisation automatique de la chaussée existante.
- Conception de carrefours giratoires.
- Conception de carrefours en T ou en X.
- Conception de bretelles.
- La création du fossé dans le profil type projet.
- Dessin automatique des fossés sur le profil en long.
- Gestion interactive de l'écoulement sur le profil en long.
- Influence sur la profondeur des fossés modélisés.
- Calcul du projet.

### **8.UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER**

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) est une association internationale représentant au niveau mondial les entreprises ayant une activité dans le domaine du chemin de fer.

#### **8.1. STRUCTURE**

Cette association internationale regroupe les différents acteurs du système ferroviaire : compagnies de chemins de fer, entreprises ferroviaires, gestionnaires d'infrastructure, compagnies de transports publics, activités complémentaires.

Elle regroupe 200 membres (septembre 2018) sur les 5 continents. Parmi ceux-ci figurent 84 membres actifs, 63 membres affiliés et 63 membres associés.

L'UIC a trois langues officielles : français, allemand et anglais. Son siège est basé à Paris.

#### **8.2. MISSION**

Cette organisation mène une double action :

1-d'une part de coopération entre les entreprises ferroviaires pour renforcer la cohérence d'ensemble du secteur ferroviaire, contribuer à améliorer sa compétitivité et son interopérabilité. À ce titre, l'UIC publie des « fiches » de prescriptions concernant la technique, l'infrastructure ou l'exploitation, ayant un caractère selon le cas, obligatoire, recommandé ou simplement informatif ;

## **CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DU ROJET**

---

2- d'autre part de promotion du chemin de fer auprès des gouvernements et des organisations internationales. À ce titre, l'UIC représente le secteur du transport ferroviaire auprès de l'organisation des Nations unies (ONU) avec un statut consultatif, ainsi qu'auprès de nombreuses organisations internationales, dont la conférence européenne des ministres des transports (CEMT).

### **9. 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 GEOMETRIQUE**  
**DES VOIES FERREES**

## **1. TRACE EN PLAN**

### **1.1. INTRODUCTION**

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

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

VR : vitesse des trains rapides (voyageurs).

VL : vitesse des trains lents (marchandises).

La géométrie du tracé en plan d'une voie ferrée est bordée par certaines contraintes physiques et technologiques :

- Le confort des voyageurs et la stabilité des véhicules ;
- La capacité de réaliser certain nombre de formes géométrique en génie civil et à la maintenir dans le temps ;
- La complexité de l'entretien

### **1.2. CONDITIONS ET REGLES DE TRACE**

Le tracé en plan doit assurer un confort technique et un coût économique, et pour atteindre cet objectif, on doit respecter les conditions et les considérations suivantes :

- Eviter les terrains très plastiques.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements.
- Eviter au maximum les propriétés privées.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques.
- Suivre les courbes de niveau afin de minimiser les terrassements.

### **1.3. ELEMENTS DE TRACE EN PLAN**

Le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements.

- 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.

- Arcs de cercles ( $R=\text{constante}$ ) : Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires. La valeur du rayon de raccordement est 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 de référence  $V_r$  de ne pas déraillé ;
- courbe de raccordement progressif (CRP) : C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon  $R = \infty$  à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur  $R$  constante au début de l'arc de cercle. On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant ;

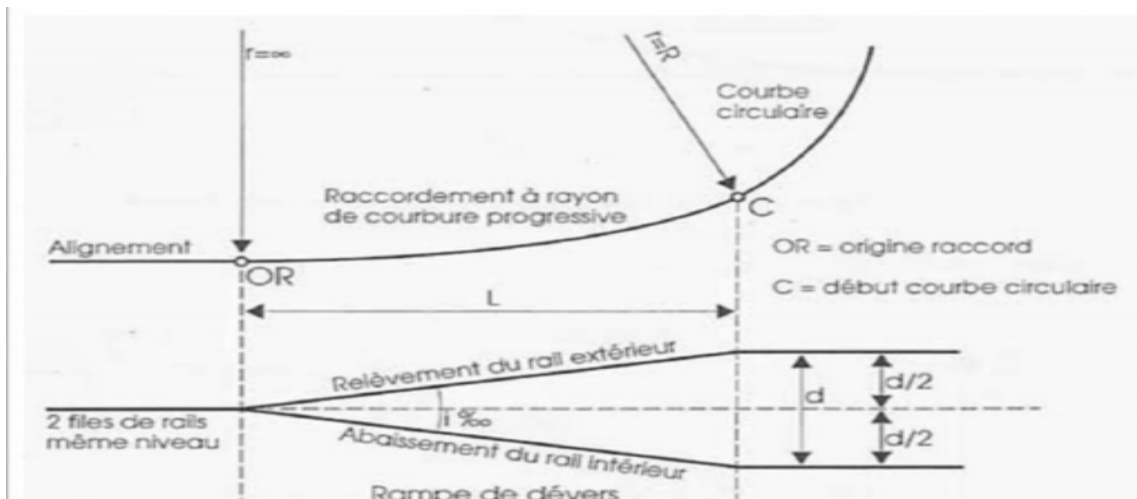


Figure III.1: Eléments du tracé en plan

### 1.4. COURBE ET CONDITIONS DE RACCORDEMENT

#### 1.4.1. La Clothoïde

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement progressif mais La clothoïde est la plus CRP qui sera appliquée dans le tracé de notre projet pour plusieurs raisons :

- C'est la CRP idéale en point de vue dynamique.
- Elle maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers ;
- Elle satisfait aux exigences d'esthétique et de confort optique ;

L'expression mathématique de la clothoïde est, en choisissant pour des raisons d'homogénéité.

$$A^2 = L_{RP} \cdot R$$

### 1.4.2. Conditions De Raccordement

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

### 1.4.3. Le Dévers :

Le dévers sera obtenu en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur. la variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe sera continue tout au long de la courbe de transition.

Le dévers a pour but de s'opposer aux déraillements des trains dus à la force centrifuge exercée sur les trains qui se déplacent sur une courbe.

#### 1.4.3.1. Le dévers théorique :

Pour une vitesse  $V$  du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement.

Tel que, ces forces sont : la force centrifuge ( $GA$ ) et le poids du véhicule ( $GB$ ). Pour faire équilibrer La composante  $GC = \frac{m.v^2 \cdot \cos \alpha}{R}$  de la force centrifuge qui tend à rejeter le véhicule vers l'extérieur, nous avons la composante  $GH = P \cdot \sin \alpha$

$$\rightarrow \frac{m.v^2}{R} = p \cdot \sin \alpha$$

Comme :  $P = m g$  et L'angle  $\alpha$  étant très petit, on peut prendre :

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{d_{th}}{e} \text{ et } \cos \alpha = 1$$

$$\frac{m.v^2}{R} = \left( \frac{m.g.d_{th}}{E} \right)$$

Donc :

$$d_{th} = \frac{e.v^2}{g.R}$$

$$d_{th} = 11.8 \frac{v^2}{R} [mm]$$

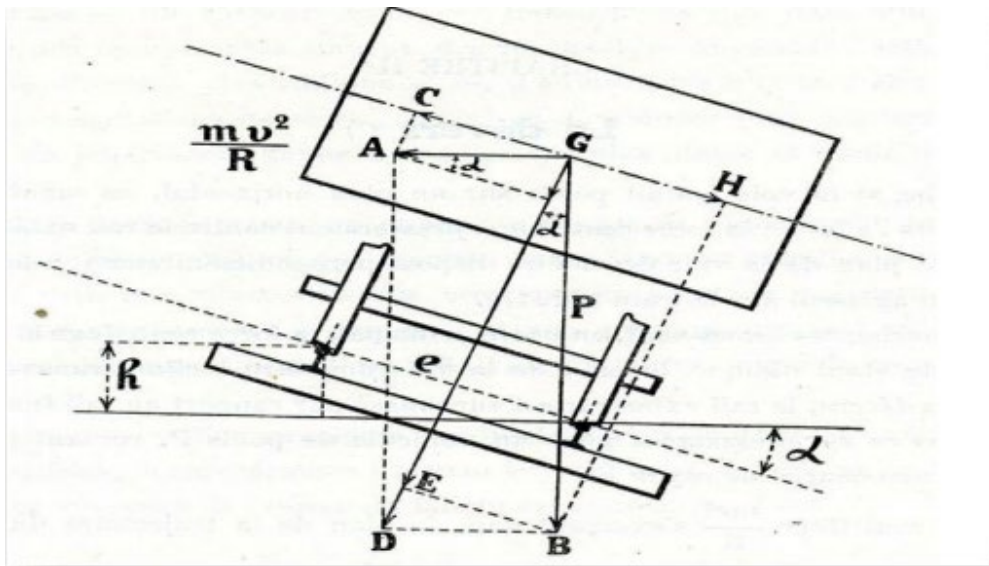


Figure III.2 : le dévers théorique

#### I.4.3.2. Le dévers pratique (normal)

Le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents.

C'est pour cela qu'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) qui tient compte des grandes vitesses ainsi que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

La formule du dévers pratique est :  $d_p = \frac{1000 \cdot c}{R}$

#### I.4.3.3. L'insuffisance de dévers

On limite l'accélération non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et un coût raisonnable de l'entretien de la voie. On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par :

$$I = \frac{11.8 v_{max}^2}{R} - d_p$$

#### I.4.3.4. 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

$$E = dp - \frac{11.8v_{min}^2}{R} \text{ [mm]}$$

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

#### 1.4.3.5. Coefficient de dévers

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

$$c = \frac{R_{min}.D_{Rmin}}{1000}$$

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 :

$$c=0.006.v^2$$

### 1.5. LONGUEUR MINIMUM DES ELEMENTS DE TRACE

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 III.1** : longueur minimal à respecter

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

### 1.6. RAYON MINIMUM DE L'ALIGNEMENT CIRCULAIRE

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, 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.

Remarques :

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 :

$$\frac{11.8v_{min}^2}{D_{max-E}} \geq R_{min(m)} \geq \frac{11.8v_{max}^2}{D_{max} + I}$$

### 1.7. RACCORDEMENT DE DEVERS

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.

La longueur de la rampe de dévers est donnée par :

$$dd/dt = [dp \times V_{max} / (3.6 \times L)]$$

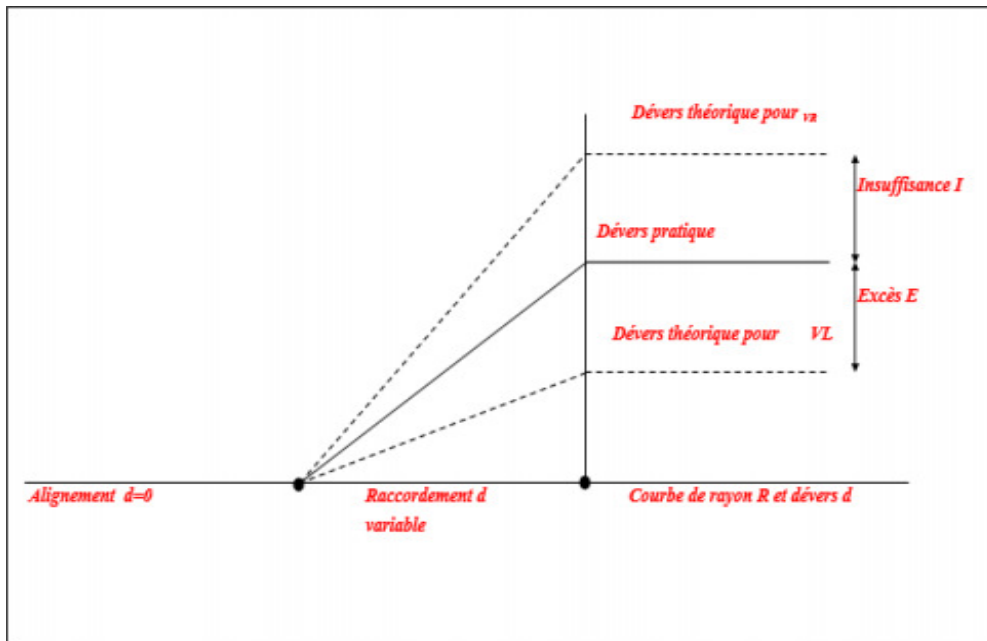


Figure III.3 : Raccordement de dévers

Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges

dynamiques à grandes vitesses qui sont répartit inégalement sur les roues, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport ( $\Delta D/\Delta L$ ) exprime cette variation en (mm/m).

### 1.8. APPLICATION AU PROJET

\*calcule les paramètres de trace en plan :

On se réfère aux normes UIC (union internationale des chemins de fer) pour notre projet.  
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 ;
- Voici la fiche (UIC 703 R) pour la vitesse maximale de 220 Km/h .

**Tableau III-2** : Paramètres de tracé pour notre projet (source fiche UIC 703R)

Valeurs	Normales	Maximales
I (Insuffisance de dévers) (mm)	121	-
E (Excès de dévers) (mm)	100	-
D (dévers) (mm)	125	-
dl/dt (mm/s)	36	-
dd/dt (mm/s)	38	-

**1- Détermination du Rayon minimale normale ( $R_{min}$ ) :**

$$R_{MIN} = \frac{11.8V_{max}^2}{DR_{MIN} + I} = \frac{11.8 \times 220^2}{125 + 121} = 2321.26m$$

**On prend :  $R_{min} = 2300m$**

**2-Calcul du coefficient de dévers (C) :**

$$C=0.006v^2$$

$$\text{A.N : } c=0.006 \times 220^2 = 290.4$$

**3-Calcul du dévers pratique dp :**

$$dp = 1000.C/R$$

$$\text{A.N}= 1000 \times \frac{290.4}{2300} = 126.26mm$$

**On prend : dp =126.26mm**

**4-Calcul de la longueur de la clothoïde (L) :**

$$\text{On a : } l \geq \frac{dp \cdot v_{max}}{3.6 \left(\frac{dd}{dt}\right)}$$

$$l \geq \frac{126.26 \times 220}{3.6 \times 38} = 203.05m$$

**On prend :L=205m**

**5-Calcul du paramètre de clothoïde (A) :**

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

$$A = \sqrt{2300 \times 205}$$

Le résultat est :

$$\text{A}=686.66m$$

**6-Calcul récapitulatif des éléments géométriques :**

**Tableau III.3:** Calcul récapitulatif des éléments géométriques

Rayon (m)	dp	Trains voyageurs 220 km/h		Trains marchandise 110 km/h		L (m)	$\sqrt{A_i = \sqrt{R_i} \cdot l_i}$ (m)
		$d_{th}$	I	$d_{th}$	E		
2300	126.26	248.31	122.05	62.08	64.2	205	686.66
3000	96.8	190.37	93.57	47.59	49.21	155.67	683.38
4000	72.6	142.78	70.18	35.69	36.91	116.75	683.37
5000	58.08	114.22	56.14	28.55	29.53	93.40	683.37

**NB :** L'intégralité du calcul a été fait à l'aide du logiciel Covadis 16 et autopiste, les résultats sont jointes dans l'annexe 3

## 2.PROFIL EN LONG

### 2.1 INTRODUCTION

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires.

Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Profil en long est l'ensemble d'alignements (paliers) et de courbes (pentes ou rampes) qui représentent la ligne rouge. Cette ligne doit respecter les conditions suivantes :

- 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 ;
- Le rayon minimum en profil en long est de  $Rv\ min = 0.35v.R^2$  ;
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés. ;
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux ;
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long ( $L_{min} = V/2$ ) ;
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

### 2.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG

**\*Pente** : C'est la partie du tracé qui donne le sens de la ligne rouge qui est en descente.

**\*Rampe** : C'est la partie du tracé qui définit la montée.

Ces deux éléments géométriques doivent assurer une variation d'altitude qui ne dépasse pas 16 pour mille maximums.

**\*Pallier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.

Courbe de raccordement verticale : c'est des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge.

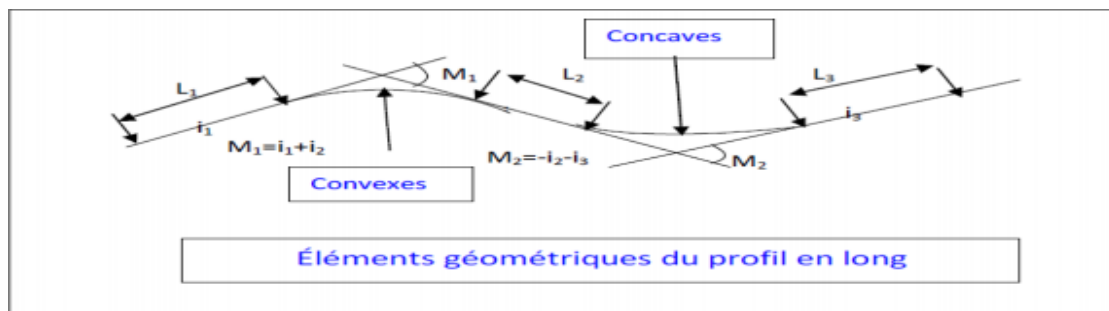


Figure III.4 : Eléments géométriques du profil en long

### 2.3. DECLIVITE MAXIMALE

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur.

En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après ; cependant dans le cadre d'une étude de variante, ces valeurs pourront être dépassées tout en respectant les dispositions reprises dans la dernière version de l'instruction SNCF/RFF IN 0272.

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰ ;
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰ ;
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

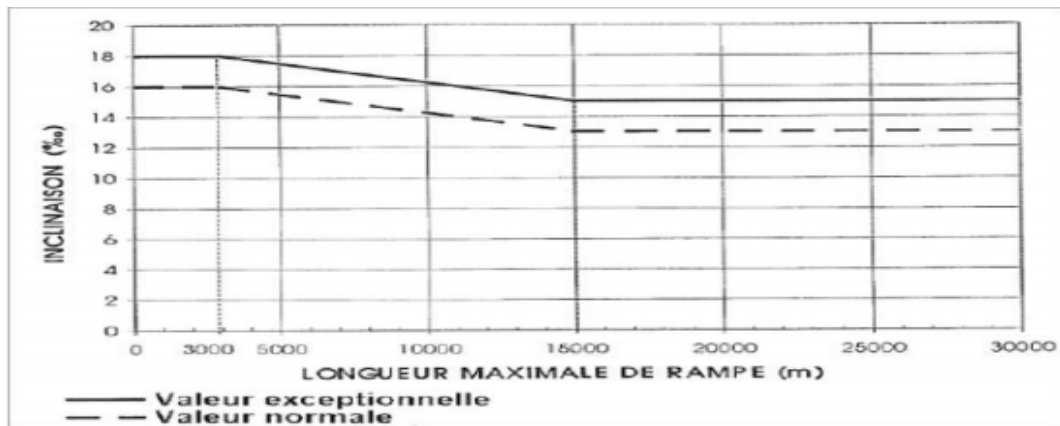


Figure III.5: Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)

### 2.4. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS 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 au véhicule, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.

Tableau III.4 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)

Valeur minimale normale	$v/2$
Valeur minimale exceptionnelle	$v/2.5$

### 2.5. 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

$$a.v = \frac{v_{max}^2}{12.96R_v} \leq a.v_{rec}$$

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

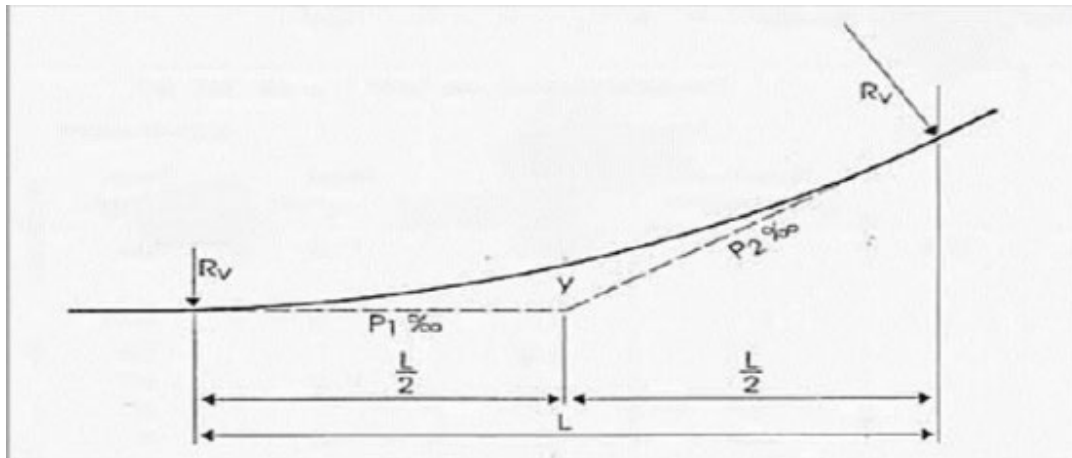


Figure III.6 : Schéma du raccordement circulaire

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

Tableau III.5. : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

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

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale).

## 2.6. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE 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 ;



$$P1 = (ZS - ZA) / (XS - XA) = (954.870 - 961.369) / (505822.615 - 506224.401) = 1.162\%$$

$$P2 = (ZS - ZD) / (XS - XD) = (954.870 - 948.370) / (505822.615 - 505419.573) = 1.161\%$$

### 3-Calcul des tangentes

$$X1 = R.P1 = 17000.0.0162 = 275.4m$$

$$X2 = R.P2 = 17000.0.0161 = 273.7m$$

$$T = \frac{X1 + X2}{2} = \frac{275.4 + 273.7}{2} = 274.55m$$

### 4-Calcul des coordonnées des points de tangentes :

#### - Calcul des coordonnées du point B :

$$= Xs - T = 505548.065m.$$

$$= Zs + T \times |p1 \%| = 1428.58m$$

#### - Calcul des coordonnées du point C :

$$= Xs + T = 506097.165 m.$$

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

### 5-Calcul de la longueur de la courbe :

$$L = 2 * T$$

$$L = 2.274.55 = 549.1m$$

**NB :** L'intégralité du calcul a été fait à l'aide du logiciel Covadis 16 et autopiste, les résultats sont jointes dans l'annexe 4

### 3. LE PROFIL EN TRAVERS

#### 3.1. INTRODUCTION

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

On distingue deux types de profil :

##### 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.

##### 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.).

Constituants du profil en travers type :

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

##### **\*Éléments de superstructure :**

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies).
- Le type de traverse utilisé.
- 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 de repoussées de ballast.

##### **\*Éléments de l'infrastructure :**

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

### \*Éléments du talus (remblai ou déblai) :

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

### \*Éléments d'assainissement :

- Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale).

### \*Éléments de protection de la voie :

- Butée en terre en cas d'ensablement.
- Ecrans de protections contre les chutes de pierres.

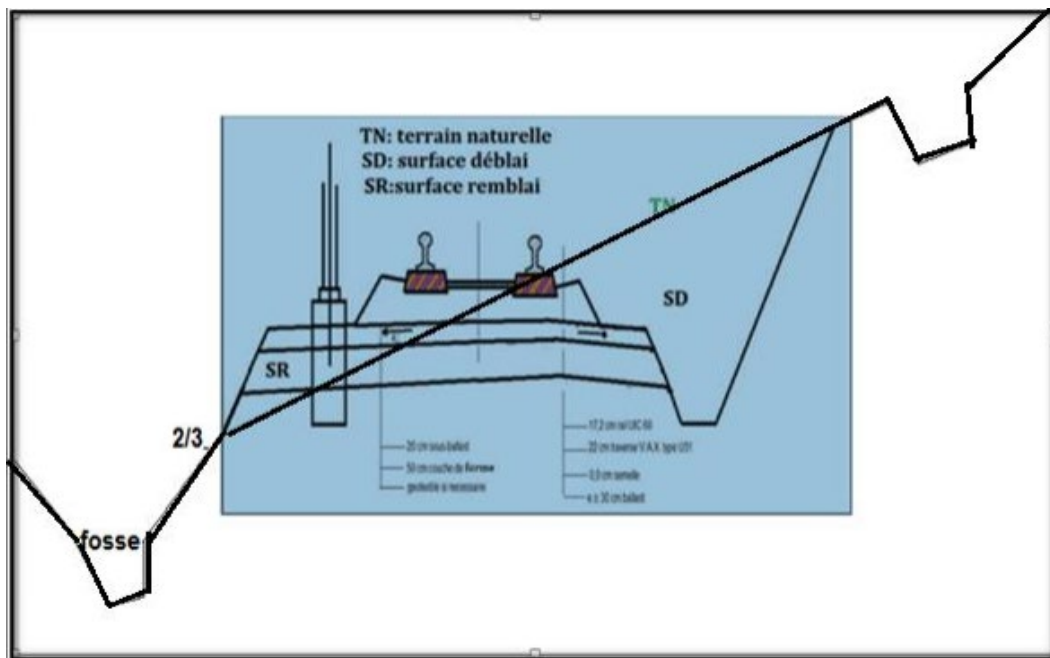


Figure III.7: Exemple profil en travers type

### 3.2. LES ELEMENTS 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.

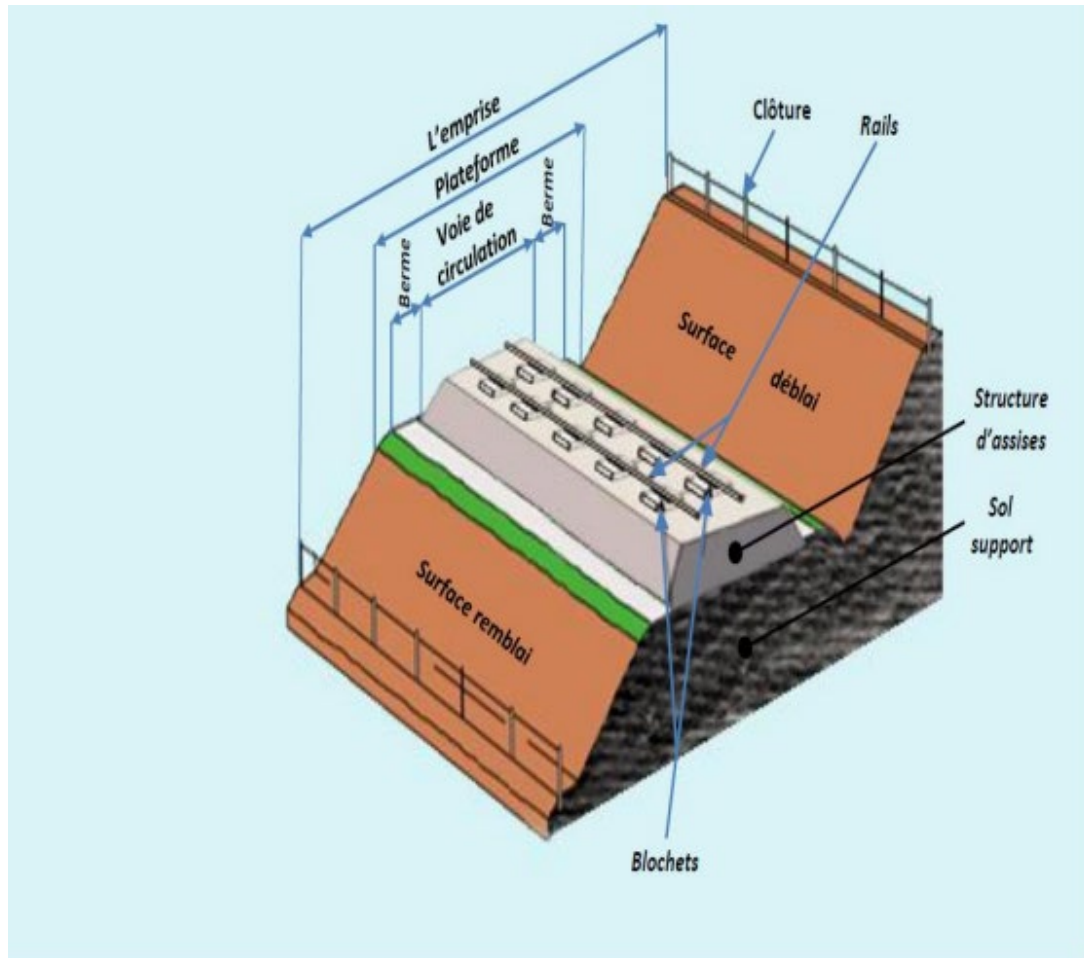


Figure III.8 : la voie

### 4. CONCLUSION

On peut conclure que L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains qui peuvent atteindre une vitesse de 220 km/h.

On a basé dans le calcul sur les paramètres géométriques et techniques recommandés par l'UIC.

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

Le gabarit nécessaire pour la future électrification de la voie, nécessite une plate-forme de 8m de largeur.



**CHAPITRE IV**  
**LA SUPERSTRUCTURE**  
**DE LA VOIE FERREE**

## 1. INTRODUCTION

La voie de chemin de fer est un ensemble d'éléments de nature différente dont les caractéristiques physique et mécanique ne sont pas les même, ces éléments sont essentiellement constitués de : ballast, les travers, les rails et leurs accessoires.

L'exploitation des voies ferrée réclame que certaines voies se coupent et que d'autres puissent communiquer entre elle. Pour cela on met en place des dispositifs connus sous le nom d'appareils de voie, ce sont les branchements et les traversées.

Chaque voie de chemin de fer à 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).

## 2. CATEGORIES DE LA VOIE

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservé 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.

## 3.LES RAILS

### 3.1. DESCRIPTION :

Les rails sont des barres d'acier profilées, qui mises bout à bout servent à former un chemin de fer. Les rails constituent à la fois une surface de roulement et un support de guidage pour les

trains, ils jouent également le rôle de conducteur électrique, soit pour le courant de traction des véhicules, soit pour les courants de signalisation.

Les rails doivent supporter les différents efforts qu'ils reçoivent, et les transmettre aux autres éléments qui composent l'infrastructure de la voie. Ces efforts peuvent être :

- Des efforts verticaux dus au poids du véhicule avec une répartition hétérogène (charges statiques), le surpoids provoqué par la force centrifuge non-compensée (charges quasi statique) et les surcharges dues à l'action de la masse (charge dynamique) ;
- Des efforts transversaux dus aux mouvements de lacet, et à l'action la force centrifuge et qui agissent sur le rail, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie ;
- Des efforts longitudinaux sont prioritairement d'ordre thermique, mais ils résultent aussi de l'adhérence des roues, soit au moment du démarrage d'un train, soit au moment de freinage brusque.

### 3.2. TYPE DE RAIL

Le rail moderne 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 du a l'écrasement au niveau des bordereaux).

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

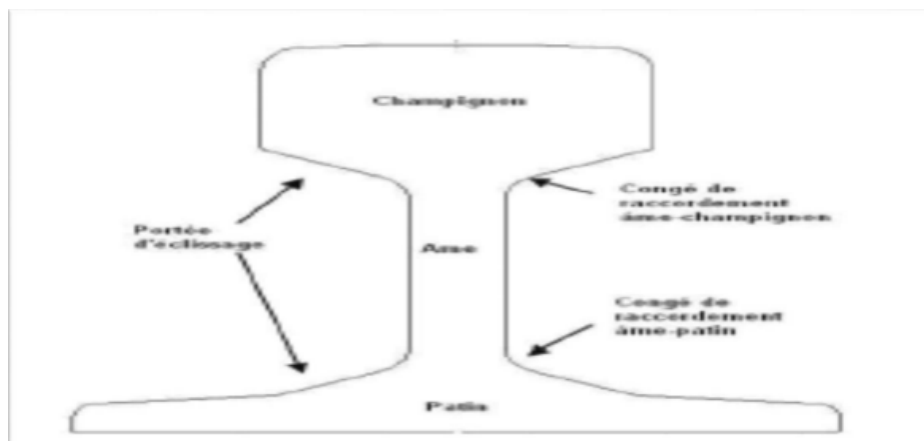


Figure IV.1 : Rail a patin (Vignole)

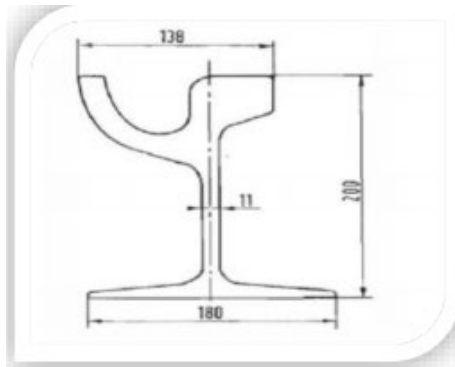


Figure IV.2 : Rail à gorge

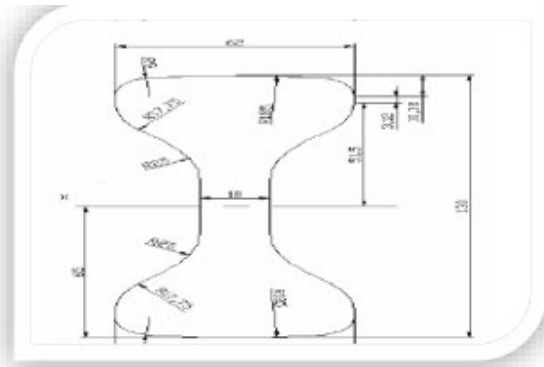


Figure IV.3 : Rail DC (double)

### 3.3. FABRICATION DU RAIL

Les rails utilisés en chemins de fer passent par beaucoup d'étapes avant leur mise en service. La première consiste à fabriquer la fonte par réduction du minerai de fer dans les hauts fourneaux puis la conversion de fonte en acier par combustion du carbone excédentaire

Après l'acier est coulé dans des lingotières de forme allongé mais de profile nettement supérieur à celui de rail, le laminage a lieu à chaud, il doit être terminé aussi basse que possible, ensuite un traitement thermique est programmé avant que le rail soit dressés, fraisés à longueur, percé et alésés.

### 3.4 .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.

Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois

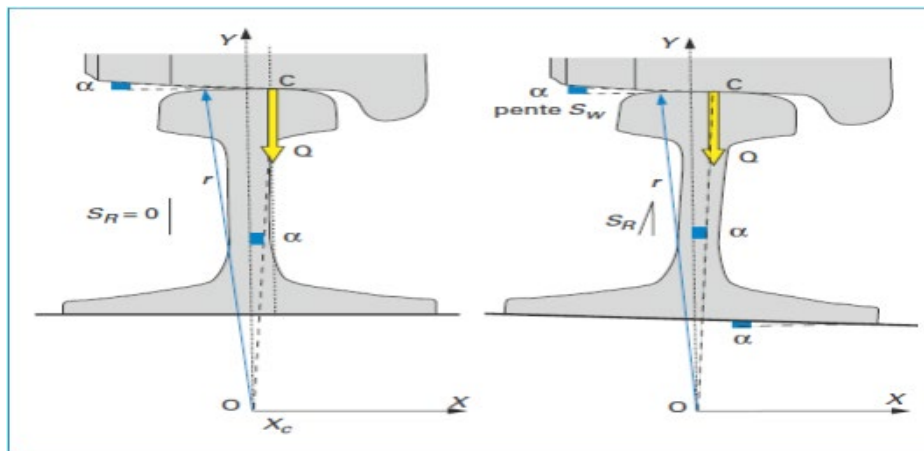


Figure IV.4: Inclinaison du rail

### 3.5. 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%)

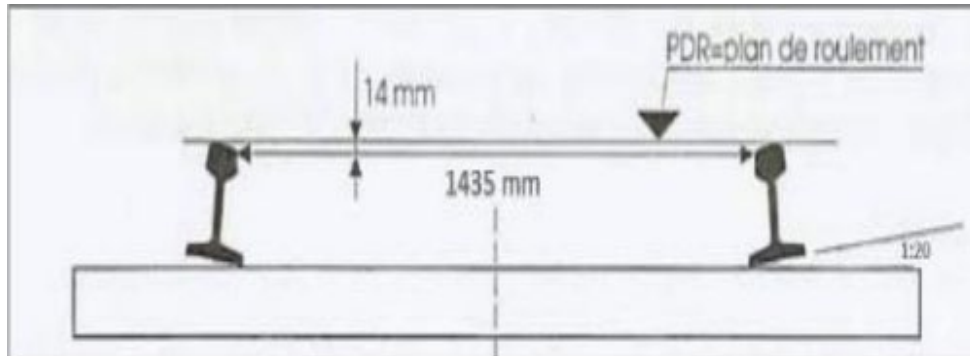


Figure IV.5 : L'écartement entre les rails

### 3.6 DEFAUT 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.

## 4. LES LONGS RAILS SOUDES (LRS)

La pose historique était en barres normales de longueurs limitées, elle nécessitait l'assemblage des barres par éclissage boulonné qui doit permettre la dilatation des rails. Le coût de maintenance est élevé suite à l'usure du montage imparfait entre les barres.

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



**Figure IV.6 :** photo d'une barre soudée

#### 4.1. SOUDAGE PAR FORGEAGE ELECTRIQUE

Il est réalisé à poste fixe ou à l'aide de machines mobiles. Le matériau à rail est chauffé et soudé par courant électrique, aussi le cordon de soudure est réalisé par le matériau que les rails. Ce type de soudage est pratiqué en atelier pour construire des barres longues.

**Temps requis :** 3 min/soudure.

##### 4.1.1. Procédure

- Dressage et encastrement des extrémités des rails ;
- Brulage des extrémités des rails et réchauffement par le passage du courant ;
- Réalisation du joint par refoulement (forgeage) ;
- Réchauffement supplémentaire avec impulsion de courant, ou refroidissement selon des gradients de température prédéfinis (pour obtenir une structure cristalline optimale) ;
- Ebavurage mécanique ;
- Meulage du joint de soudure.

##### 4.1.2. Avantages

- Absence de matériau étranger ;
- Expulsion des impuretés (oxydes) lors du forgeage ;
- Répartition uniforme de la dureté grâce à une zone de réchauffement courte (30-40 mm) ;
- Procédé des soudages entièrement mécanisé, ce qui résulte un soudage constant et régulier, de bonne qualité et absence de défauts dus à la fatigue ou le manque de concentration du soudeur.

## 4.2. AVANTAGES ET CONVENIENTS DES LRS

### 4.2.1. Les principaux avantages des LRS

- Réduction des couts de maintenance ;
- Réduction des défauts et d'usure de rail ;
- Diminution du bruit et des émissions sonores ;
- Mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.

### 4.2.2. Les principaux inconvénients des LRS

- 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.

## 5. APLICATION POUR NOTRE PREJET

\*Les données du projet :

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

1-calcul le coeff.de vitesse  $c_v$  :

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

2-calcul de la charge dynamique :

$$p_{stat}=22.5t$$

$$p_{dyn}=c_v \cdot p_{stat}=22.5 \times 2.61=58.73t$$

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

3-calcul de  $M_{max}$  :

$$M_{max}=\frac{p \cdot l}{4}=\frac{29.36 \times 10^3 \times 65}{4}=4.77 \times 10^5 \text{kg.cm} \quad (\text{en supposant que le rail est simplement appuyée sur les traverses})$$

$M_{max} = \frac{p.l}{8} = \frac{29.36 \times 10^3 \times 65}{8} = 2.39 \times 10^5 \text{ kg.cm}$  (en supposant que le rail est Encastré sur les travers )

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

4-conditions de résistance :

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

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

$$W_{XX} \geq \frac{M_{moy}}{\sigma'} = W_{XX} \geq \frac{3.8 \times 10^5}{6800} \geq 55.88 \text{ cm}^3$$

- Donc dans notre projet. Nous utilisons le rail S 18

5- Les caractéristiques géométrique suivant :

RAIL		
<b>Masse linéique théorique</b>		
<i>Theoretical weight</i>	kg/m	<b>18,3</b>
<b>Moment d'inertie Ix</b>		
<i>Moment of inertia</i>	cm <sup>4</sup>	<b>278</b>
<b>Module d'inertie Ix/v</b>		
<i>Modulus of inertia</i>	cm <sup>3</sup>	<b>58,1</b>
<b>Section</b>		
<i>Section</i>	cm <sup>2</sup>	<b>23,14</b>
<b>Résistance à la traction</b>		
<i>Tensile strenght</i>	N/mm <sup>2</sup>	<b>680</b>

Figure IV.7 : caractéristique techniques du profile

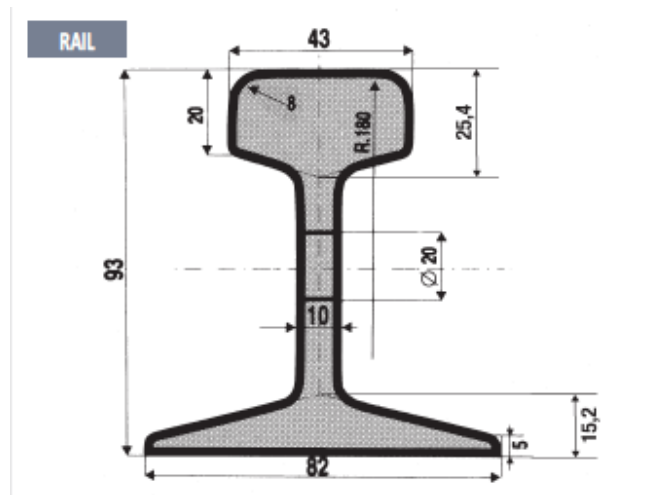


Figure IV.8 : caractéristiques géométrique du profile

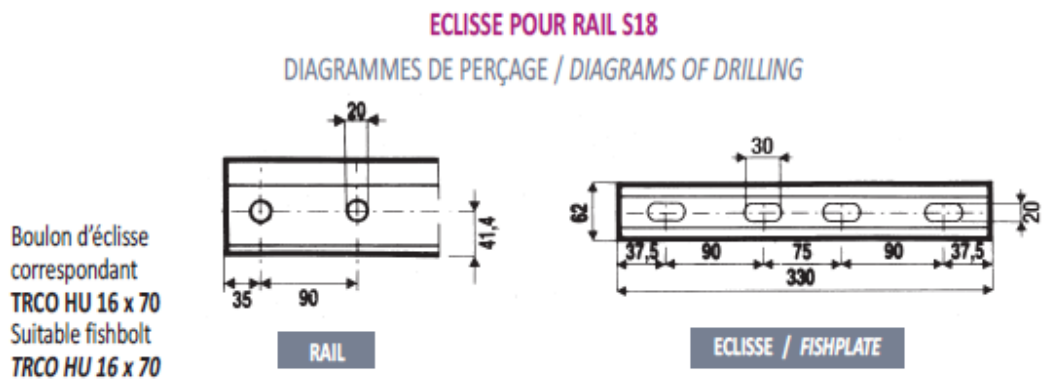


Figure IV.9 : caractéristique géométriques du l'éclisse du rail

## 6. TRAVERSE

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

### 6.1. TRAVERS EN BOIS

Elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre qui sont apprécié 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 vue leurs effets négatifs sur l'environnement et leur cout élevée.



**Figure IV.10 :** Travers en bois

## **6.2. TRAVERS EN BETON ARME**

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 :

### **6.2.1. Travers en Bi bloc**

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



**Figure IV.11 :** Travers en Bi bloc

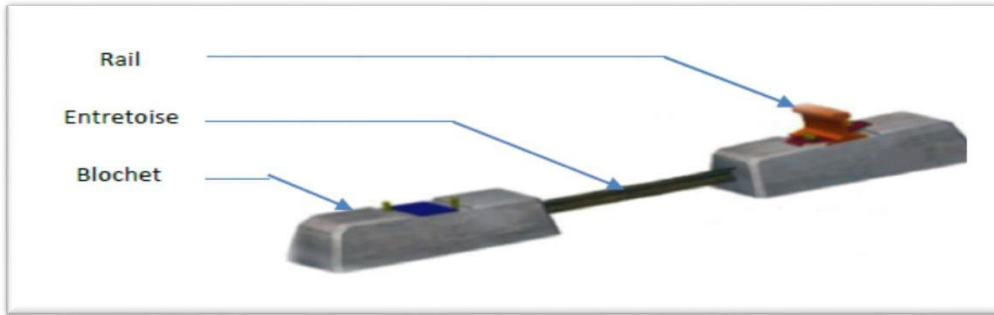


Figure IV.12 : éléments du Travers en béton bi-blocs

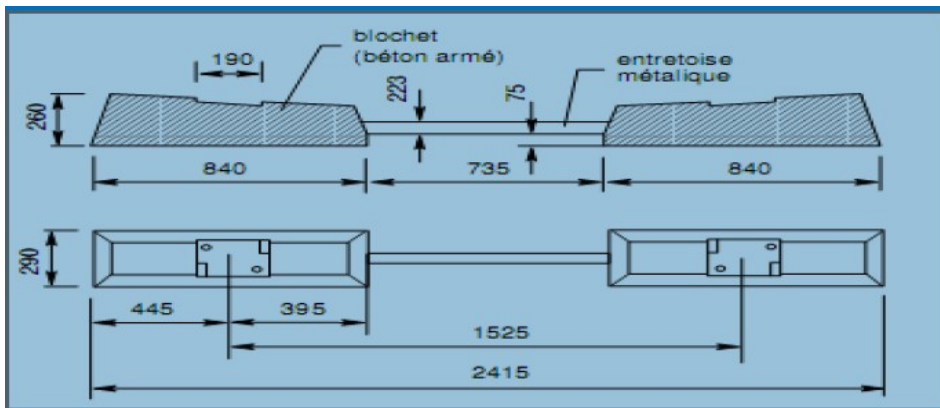


Figure IV.13 : Caractéristiques de la traverse en béton bi-bloc

### 6.2.2. Travers en Monobloc

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

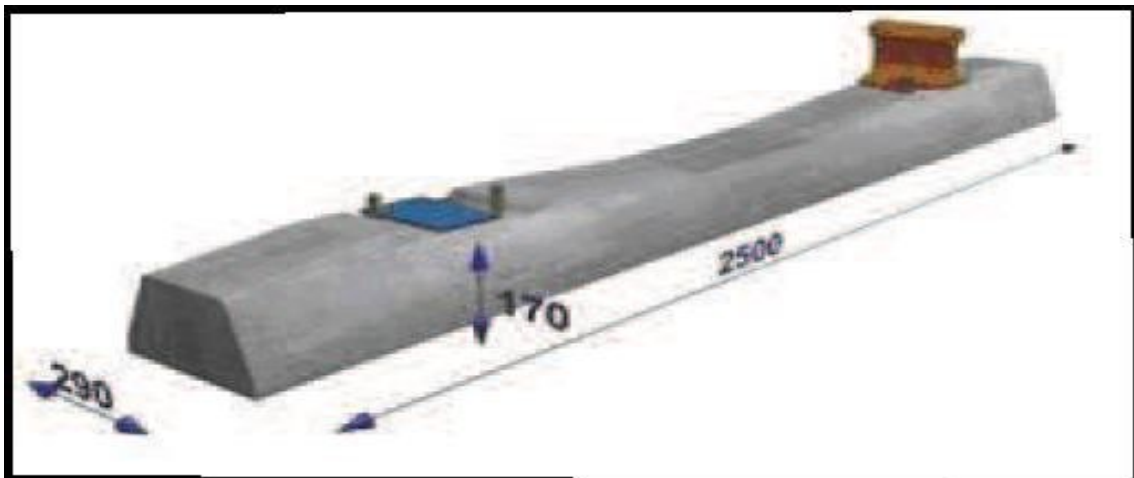


Figure IV.14: Travers en Monobloc

### 6.3. TRAVERS METALLIQUES

Les travers métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisés. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevée, s'ancrent moins bien dans le ballast à cause de leur légèreté.

Elles rendent également très difficile l'entretien de la géométrie de la voie par bourrage. En effet, leur forme ne permet pas aux bourreuses d'insérer du ballast sous la traverse.



**Figure IV.15 :** Travers métalliques

#### **6.4. ROLE DES TRAVERSES**

Les traverses se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels 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.

#### **6.5.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.

##### **6.5.1. 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.

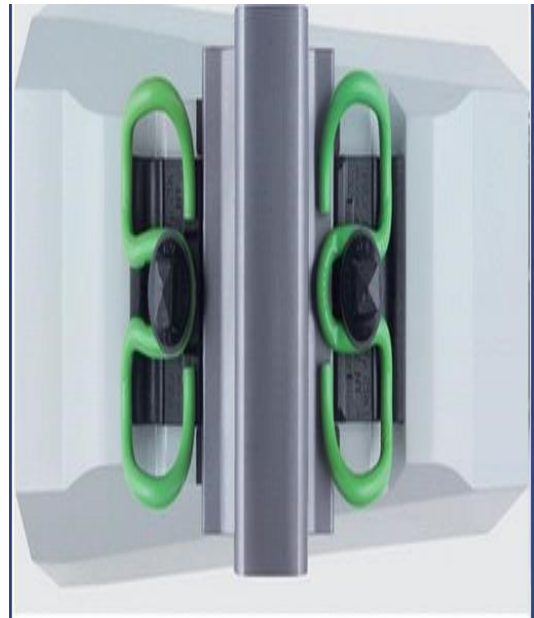
### 6.5.2. Rôle d'attache

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.



**Figure IV.16 :** attache de type Nabla



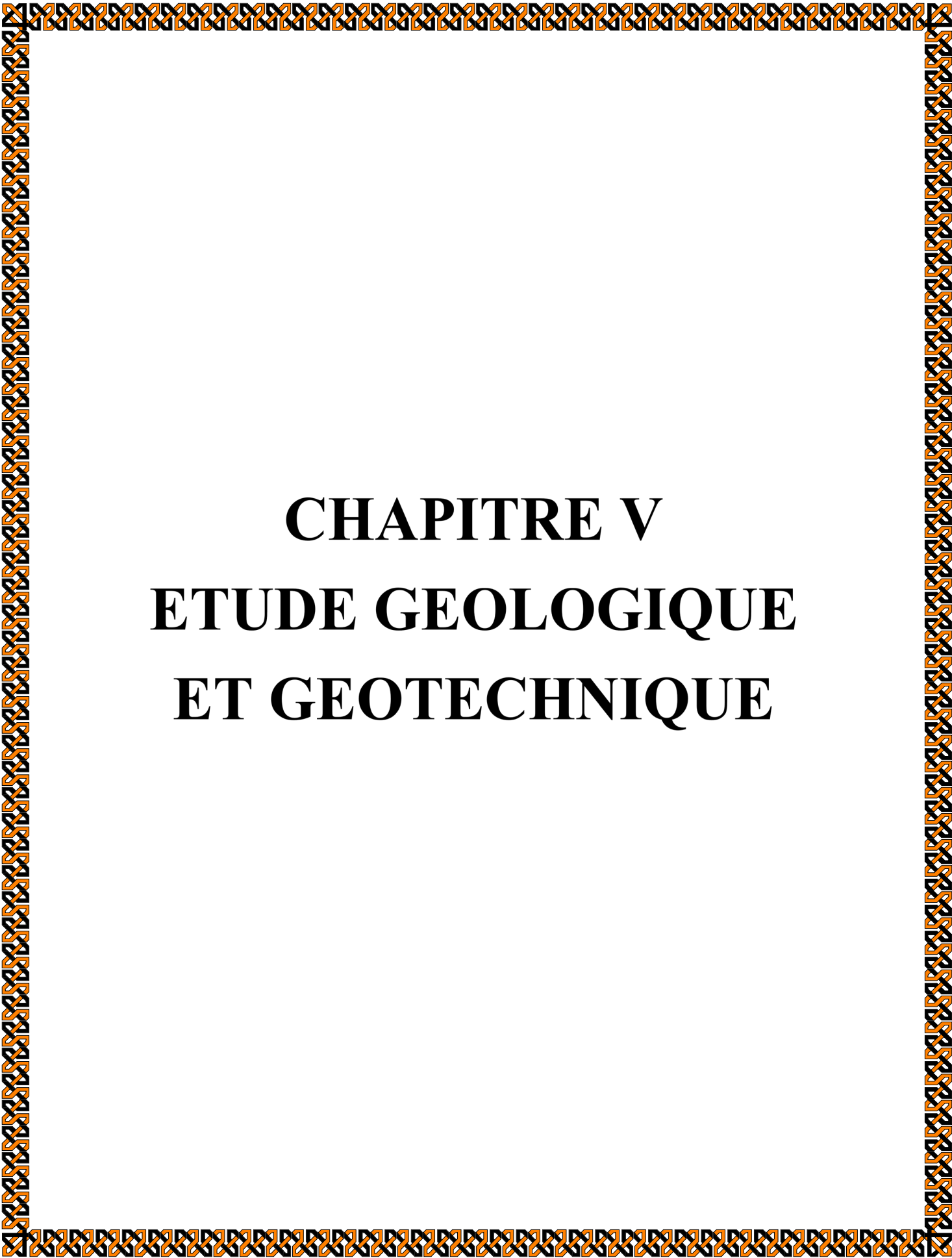
**Figure IV.17:** attache de type Vossloh



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

## 7.CONCLUSION

On peut conclure que la superstructure qui permettant la transmission à la plate-forme (infrastructure) les charges statiques et dynamiques des roues, Dans après la fin de ce chapitre, nous parlons dans le prochain chapitre à propos de Couches d'assises.



**CHAPITRE V**  
**ETUDE GEOLOGIQUE**  
**ET GEOTECHNIQUE**

## 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.

## 2. GEOLOGIQUE

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 certains 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.

### 2.1. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE

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.

Les terrains les plus récents des zones basses souvent peu épais, sont constitués en majorité de formations du quaternaire, alors que les chaînes montagneuses appartiennent au secondaire.

Le tracé passe entre une série de chaînes montagneuses, d'aspect singulier et typique à la région. Leurs sommets forment des bassins, constitués de plusieurs cuvettes elliptiques, circonscrites, de grandeurs décroissantes, empilées les unes sur les autres, et entaillées de fentes à travers lesquelles coulent les oueds les plus importants de la région.

- **Du PK 30 + 000 au PK 49 + 000** : c'est à partir de cette zone (aux alentours du PK 30) que les marno-calcaires laissent place aux faciès gréseux. Ces grès sont affleurant, et quelquefois se présentent en alternance avec de faibles bancs d'argilites de coloration remarquable, rouge et

verte. Cette zone constitue une vaste plaine, dont le fond est constitué de grès peu couvert, sauf parfois de fines couches de sable éolien.

**-Du PK 49+000 au PK 86 + 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 formants 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.

## 2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 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.

À partir des rapports de forages et puits d'exploration, un profil géologique a été établi tout le long du tracé.

La description du contexte géologique local donné ci-dessous, par PK (point Kilométrique) est basée sur le profil géologique, les cartes géologiques disponibles ainsi que sur les observations effectuées sur terrain.



**Figure V.1:** Zone de plaine (PK 63 + 500)

**-Du PK 28 + 500 au PK 63+000** : Sur cette partie du tracé, le projet se développe dans des formations rocheuses du Crétacé inférieur (Albien / Barrémien), constituées par une alternance

de couches de grès rougeâtre et d'argilites (voir photos n°28 et n°29 de l'annexe 2 du volume 1). Ces formations ont été rencontrées au niveau des forages F-15-08, F-16-08, F-19-08, F-16-08 et F-22-08, ainsi que dans la majorité des puits d'exploration réalisés dans cette section. Les couches de grès et d'argilites 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 par des encroûtements calcaires, des argiles limoneuses ou des sables.

Le forage F-22-08 réalisé au PK 62+177, a mis en évidence une couche alluvionnaire, s'étendant jusqu'à 11,00m de profondeur.

**2.3. SISMICITE**

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 V.1:** classe de des zones sismiques

Groupe	ZO		NE	
	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

**3. GEOTECHNIQUES**

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, de son comportement.

L'étude géotechnique, en définissant les caractéristiques précises du terrain, en mesurant les déformations, les résistances, permet d'optimiser le dimensionnement des ouvrages et de leurs infrastructures, et de proposer des solutions efficaces.

**3.1. PROGRAMME DE LA COMPAGNE DE RECONNAISSANCE**

Le programme d’investigation géotechnique exécuté en phase d’avant-projet sommaire (APS), a consisté en la réalisation des travaux suivants :

- 38 forages, avec prélèvement d’échantillons intacts et remaniés, soumis à divers essais de laboratoire, et la réalisation de 48 essais SPT ;
- 76 puits d’exploration avec prélèvement d’échantillons remaniés soumis à divers essais de laboratoire ;
- 15 essais de pénétration dynamique poussés jusqu’au refus ;
- 10 sondages pression métriques ;
- Repérage des zones d’emprunt et carrières.

**3.2. PUIXS DE RECONNAISSANCE**

Une campagne de 5 puits de reconnaissance pour l’étude de la géotechnique du couloir a été réalisée. Pendant leur exécution, une description visuelle des matériaux affectés, et une prise d’échantillons pour leur analyse en laboratoire ont été effectuées. L’analyse des puits de reconnaissance a permis l’établissement des coupes géologiques montrant la lithologie des terrains traversés en profondeurs ainsi que leurs épaisseurs, ce qui nous permet de reconnaître la nature du sol support. Nous présentons ci-après un tableau résumant la position des puits :

**Tableau V.2 : Implantation et description des puits**

Puits	PK	Profondeur (m)	Description
PU1	PK 57+483.16	0-0.10 0.10-1.40 1.40-1.60	Limon sableux de couleur jaunâtre, avec des traces de racine Grès friable altéré, de couleur rougeâtre. Grès dur de couleur rougeâtre.
PU2	PK 58 +348.90	0-0.2 0.2-1.50 1.50-1.80	Terre végétale, Présence de racines Limon sableux de couleur brunâtre, avec présence de traces de carbonates Limon-sableux avec un peu de gravier et des traces de blocs, de couleur brunâtre.
Pu3	Pk 60+064.53	0-0.15 0.15-1.30 1.30-3.40	Terre végétale de couleur brunâtre, Présence de racines. Limon argileux avec un peu de sable de couleur brunâtre. Argile limoneuse avec des traces de sable de

			couleur brunâtre, présence de traces de carbonates.
PU4	PK 61+180.70	0-0.10 0.10-1.00  1-1.50  1.50-2.80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terre végétale de couleur brunâtre, Présence de racines.</li> <li>• Limon argileux avec trace de sable et de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Gravier avec un peu de limon et de sable, de couleur brunâtre.</li> <li>• Argile limoneuse, avec des traces de sable et gravier, de couleur brunâtre à rougeâtre. Présence de carbonates.</li> </ul>
PU5	PK 61+771.00	0-0.90  • 0.90-1.9  • 1.90-2.40	<p>Limon argileux avec des traces de sable, de couleur brunâtre.</p> <p>Encroûtement calcaire blanchâtre, constitué de limon-sableux.</p> <p>Sable lâche de couleur verdâtre. Présence de grès dur en fond de fouille.</p>

### 3.3. SONDAGES CAROTTES

Les sondages carottés réalisés, nous ont permis de déterminer la nature des formations en place.

**Tableau V.3 :** Implantation et description des sondages (1)

N° Sondage	PK	Profondeur (m)	Formations
S1	62+177	0-0.20 0.20-10.40  10.40-13  13-15.30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terre végétale</li> <li>• Alluvions formés de graviers et cailloux avec un peu de sable et de limon, de compacité moyenne</li> <li>• Limon sableux, avec des trace d'argile et de gravier, de couleur verdâtre, de consistance dure.</li> <li>• Grès rougeâtre, présentant des fissures obliques et de qualité bonne à excellente</li> </ul>



Figure V.2 : Caisse N° 01 (0,00 à 10,07 m)



Figure V.3 : Caisse N° 02 (10,07 à 14,50 m)



Figure V.4 : Caisse N° 03 (14,50 à 15,30 m)

Tableau V.4 : Implantation et description des sondages (2)

N° Sondage	PK	Profondeur (m)	Formations
S2	63+576	0-15.00	Grès rougeâtre à jaunâtre, présentant quelques fractures obliques remplies de sables argileux. la qualité du roc se qualifie de bonne à excellente.



Figure V.5 : Caisse N° 01 (0,00 à 4,85 m)



Figure V.6 : Caisse N° 02 (4,85 à 9,72 m)



Figure V.7 : Caisse N° 03 (9,72 à 14,50 m)



Figure V.8 Caisse N° 04 (14,55 à 15,15 m)

### 3.4. LES ESSAIS EN LABORATOIRE

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de récupérer des échantillons intacts, paraffinés qui ont été acheminés au laboratoire ou ont été réalisées les différents essais physiques, d'identifications et les essais mécaniques.

#### 3.4.1. Essais physiques

- Le poids volumique du sol sec « $\gamma_d$ » : 
$$\gamma_d = \frac{w_s}{v}$$
- Degré de saturation  $S_r$  :

Le degré de saturation noté  $S_r$ , indique dans quelle proportion les vides sont remplis par l'eau. Il est défini comme le rapport du volume de l'eau au volume des vides. Il s'exprime en pourcentage.

$$s_r = \frac{v_w}{v_v} \times 100$$

Le degré de saturation peut varier de 0% (sol sec) à 100% (sol saturé)

- **Teneur en eau (normes N F P 94-050) :**

C'est la quantité d'eau d'un sol :  $W = \frac{W_w}{w_s} \times 100$

### 3.4.2. Essais d'identification

#### \*Analyse granulométrique :

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 $\mu$ 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 en partant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

#### \*Analyse sédimentométrique :

L'analyse granulométrique par sédimentométrie s'adresse à des échantillons de sols ne contenant que des éléments de diamètre inférieur à 100  $\mu$ 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  $\mu$ m.

#### \*Limites d'atterberg :

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.

### 3.4.3. 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 est 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 «  $\phi$  ».

#### \*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.

**3.5.LES RESULTATS DES ESSAIS**

**Tableau V.5 :** Résultats des essais de laboratoire

Puits	Prof (m)	Nature des sols	Analyses granulométriques			WP	Limites d'Atterberg			Classification UIC
			< 80µm	< 2mm	Dma x		wl	IP	Ic	
PU 1	1.50-2.00	Limon sableux	80	100	2	19.3	41.65	22.45	19.20	QS1
PU 4	0.20-1.50	Limon argileux	4	12	20	4	19.18	15.63	3.55	QS2

Tableau V.6 : Résultats des essais de laboratoire

		Forage N° : F-22-08		
		Echantillons intacts (CR)		
		CR 15	CR 17	CR 19
Profondeur (m)		11.20-11.40	12.70-12.90	15.00-15.50
Teneur en eau	w (%)	16,3	7,7	
Degré de saturation	Sr (%)	78,2	84,4	
Poids volumique humide	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,10	23,30	
Poids volumique sec	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,30	21,70	
Analyse granulométrique (% des passants à)	<80 $\mu$ m (%)	93	0	
	<2mm(%)	99	100	
Limites d'Atterberg	w <sub>L</sub> (%)	37,4	31,8	
	w <sub>p</sub> (%)	18,1	18,8	
	I <sub>p</sub> (%)	19,26	12,99	
Indice de consistance	I <sub>c</sub>	1,1	1,9	
Résistance a la compression	R <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )			257,42
Essai de compressibilité à l'oedomètre	P' <sub>c</sub> (kPa)	137		
	e <sub>0</sub>	0.527		
	C <sub>c</sub> (%)	12,29		
	C <sub>g</sub> (%)	2,63		
Cisaillement direct (UU)	$\phi_0$ (°)	28,4	7,3	
	c <sub>u</sub> (kPa)	103,0	66,0	
Analyses chimiques	pH	-		
	Sulfates (%)	1,189		
	Chlorures (%)	0,760		
	CaCO <sub>3</sub> (%)	8,2		

Tableau V.7 : Résultats des essais de laboratoire

		Forage N° : F-23-08		
		Echantillons intacts (CR)		
		CR 1	CR	CR 3
		0.30-0.52	1.00-3.00	2.28-2.70
Profondeur (m)				
Teneur en eau	w (%)			
Degré de saturation	Sr (%)			
Poids volumique humide	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )			
Poids volumique sec	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )		19,00	
Analyse granulométrique (% des passants à)	<80 $\mu$ m (%)			
	<2mm(%)			
Limites d'Atterberg	w <sub>L</sub> (%)			
	w <sub>p</sub> (%)			
	I <sub>p</sub> (%)			
Indice de consistance	I <sub>c</sub>			
Résistance a la compression	R <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	69,20		176,14
Essai de compressibilité à l'oedomètre	P' <sub>c</sub> (kPa)			
	e <sub>0</sub>			
	C <sub>c</sub> (%)			
	C <sub>g</sub> (%)			
Cisaillement direct (UU)	$\phi_u$ (°)			
	c <sub>u</sub> (kPa)			
Analyses chimiques	pH			
	Sulfates (%)			
	Chlorures (%)			
	CaCO <sub>3</sub> (%)			

### 3.6. INTERPRETATION DES RESULTATS

#### 1-Analyse granulométrique :

Les résultats attestent un sol de gros sable

Un sol en gravier sableux

#### 2-Plasticité :

Les résultats indiquent que le sol est peu plastique

#### 3-L'indice de consistance « I<sub>c</sub> » :

**CONSISTANCE DES SOLS PLASTIQUES**

Indice de consistance des sols plastiques est défini par la relation suivante :

$$I_c = (W_L - W) / I_P$$

<b>Ic</b>	<b>Consistance du sol</b>
< 0	Liquide
0,00 à 0,25	Pâteuse ou très molle
0,25 à 0,50	molle
0,50 à 0,75	ferme
0,75 à 1,00	très ferme
> 1	dure

**Figure V.9** : consistance des sols plastiques

Les résultats valeurs indiquent que le sol est dure.

**4-Densité :**

Très dense.

**5-Teneur en eau et saturation :**

Le sol est non saturé.

**4. CONCLUSION**

La reconnaissance géotechnique détaillée a permis d'avoir une coupe longitudinale du tronçon étudiée avec toutes ses géotechniques, et de classer la plateforme selon la norme UIC 719R qui révèle la présence des plateformes de classe QS2 (P2).



**CHAPITRE VI**  
**TERRASSEMENTS ET**  
**COUCHE D'ASISES**

**1. TERRASSEMENT**

Les opérations de terrassement interviennent dans la construction de la plupart des Ouvrages de génie civil ou de bâtiment. La gamme de la taille des chantiers est très étendue, depuis des chantiers élémentaires de fouilles de bâtiments jusqu'aux grands chantiers d'infrastructures et d'aménagement du territoire.

L'opération de terrassement consiste à manipuler, avec des moyens appropriés, des matériaux selon une cinématique classique :

- L'excavation ou l'extraction des matériaux d'une fouille, d'un déblai, d'un emprunt ou carrière ;
- Le transport des matériaux à pied d'œuvre ;
- La mise en œuvre des matériaux, soit mise en dépôt, soit mis en remblai.

Le mouvement des terres économique étant recherché. La simplicité de ces opérations n'est qu'apparente. En effet, les déblais, les remblais, certains dépôts aménagés constituent autant d'ouvrages en terre unitaires formant l'ensemble de l'ouvrage.

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

De surcroît, de nombreux paramètres complexifient les conditions d'exécution de ces opérations ; leur prise en compte, et ce dès le stade des études, réclament une technicité élevée.

**1.1. DEBLAI**

Le résumé des déblais importants sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.1 : Caractéristiques des déblais**

PK Déblai		Hauteur max a l'axe (m)	Longueur (m)	Pente talus (H/V)	Largeur berme (m)/ Hauteur talus
Debut	Fin				
56+000	56+200	4.81	200	1/2	8m
58+000	58+975	11.969	975	1/2	8m
61+975	62+400	2.72	425	1/2	8m

**1.2. REMBLAI :**

Le résumé des remblais importants sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.2 :** Caractéristiques des remblais

PK Déblai		Hauteur max a l'axe (m)	Longueur (m)	Pente talus (H/V)	Largeur berme (m)/ Hauteur talus
Début	Fin				
56+225	57+950	4.24	725	1/2	8m
59+450	61+950	3.183	2500	1/2	8m

**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.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

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

- Méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
- Méthode de l'aire moyenne (méthode par défaut).
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée.

Aucune des ces méthodes donnent de résultats exactes, pour rapprocher de l'exactitude on doit majorer les résultats avec une certaine marge d'erreur

Tableau VI.3 : Les Valeurs des volumes

Volume déblais ( <b>m3</b> )	307527.62
Volume remblais ( <b>m3</b> )	278297.89
Ballast ( <b>m3</b> )	19384.2
Revêtement ( <b>m3</b> )	75.42
Chape ( <b>m3</b> )	188.54
Sous Ballast ( <b>m3</b> )	14824.67
Couche de Fondation ( <b>m3</b> )	24191.02
Revêtu ( <b>m3</b> )	10262.99

**NB** : les profiles en travers types en déblai et remblai sont jointes dans l'annexe 1 et 2

## 2.COUCHE D'ASSISES

### 2.1. INTRODUCTION

La structure d'assises ou l'infrastructure de la voie est le soubassement d'une voie, en d'autre terme, c'est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle sert à répartir sur la plateforme, les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus elle contribue 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.

### 2.2.LES DIFFERENTES COUCHES D'ASSISES

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

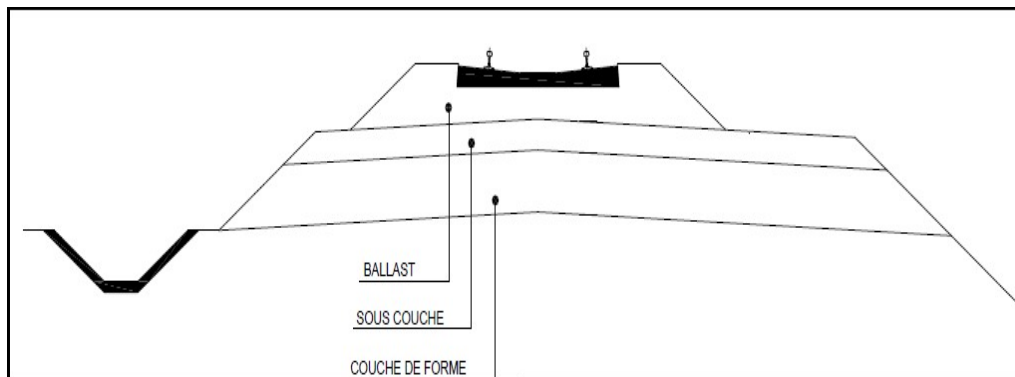


Figure VI.1 : les différentes couches d'assises.

### 2.2.1. La couche de ballast

On appelle « ballast » le lit de pierre interposés 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 63 mm.

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

- Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses ;
- Amortir une partie très importante de la vibration grâce à ses propriétés rhéologiques ;
- Assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage rapide de la voie ;
- Permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du bourrage-dressage mécanique ;
- 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).

#### \*Caractéristique du ballast :

##### Caractéristique 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 durs) 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/  $cm^2$ , Document SNTF).

**2.2.2. La sous-couche**

Elle comprend, du haut vers le bas, une couche sous-ballast (en grave graduée 0/31,5 mm), une couche de fondation (en grave compactée à 100% OPN mais cela n'est pas nécessaire pour le meilleur sol) et, s'il y a lieu une couche anti contaminant (en sable propre et éventuellement complétée par une feuille géotextile).

**2.2.2.1. Les rôles de la sous-couche sont multiples**

- 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 plate-forme 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 pentée transversalement (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de plate-forme (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 %.

### 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  $\geq 12$ . 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  $\geq 10$ . 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).

### 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 feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

## 2.3. DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISES

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).

### 2.3.1. Classification de la plate-forme

On fait la classification de la plate-forme selon l'UIC (Fiche 719 R), Pour classer les plates-formes il faut tout d'abord connaître la classe de qualité de chaque sol composant la plateforme, puis estimer la classe de portance de la plate-forme.

Une bonne connaissance de la qualité de la plate-forme est nécessaire, car elle représente l'emprise au sol, et constitue la base de la voie ferrée. Pour bien remplir son rôle elle doit être stable et saine.

### 2.3.2. 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 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  $Q_{S_i}$  de sol ci-après : de la qualité du sol

( $Q_{S0}$  = 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).

### 2.3.3. Classes de portance de plateforme

La portance d'une plateforme dépend :

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

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

**P3** : bonne plate – forme.

**P2** : plate-forme moyenne.

**P1** : plate –forme mauvaise.

#### 2.3.4. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

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

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

« **E** » - des classes de portance (P1, P2 ou P3).

« **a** » - de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714).

« **b** » - de la type de traverses.

« **c** » - des conditions de travail.

« **d** » - de la charge maximale d'essieu des véhicules.

« **f** » - de la vitesse.

« **g** » - de installation de géotextiles.

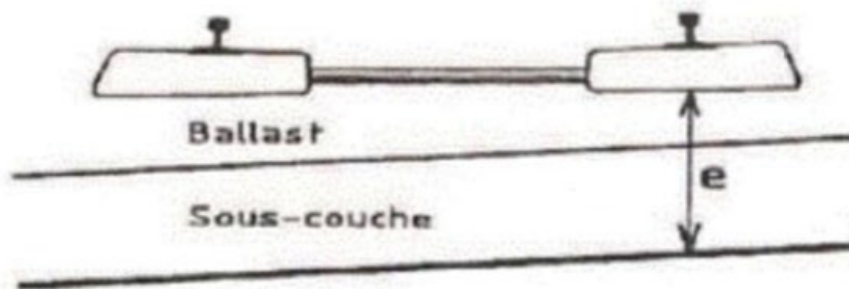


Figure VI.2 : couches d'assise

2.3.5. Les paramètres de dimensionnement : E, a, b, c, d, f, g

• Valeur de E et l'utilisation des géotextiles

**Tableau VI.4 :** 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
<b>QS3</b>	<b>QS3</b>	<b>-</b>	<b>P3</b>	<b>0.45</b>

**\*Les Valeurs de a**

- 0 m pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC) ;
- 0.05 pour les lignes de groupes UIC (3,4) ;
- 0.10 m pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs ;
- 0.15 m pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.

**\*Les Valeurs de b**

- 0 m pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m ;
- (2.50-L) /2 m : pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mètre si L>2.5, b peut être négatif).

**\*Les Valeurs de c**

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

**\*Valeurs de d**

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

- 0.12 m lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.

**\*Valeurs de 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 ;
- 0.05 m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse. • 0,10 m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a grande vitesse.

**\*Valeurs de g :**

- + géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 ;
- (Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

**3.APPLICATION AU PROJET**

**\*d'après la fiche 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

**\* 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
- (+ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2).

**\*Donc :**

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

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

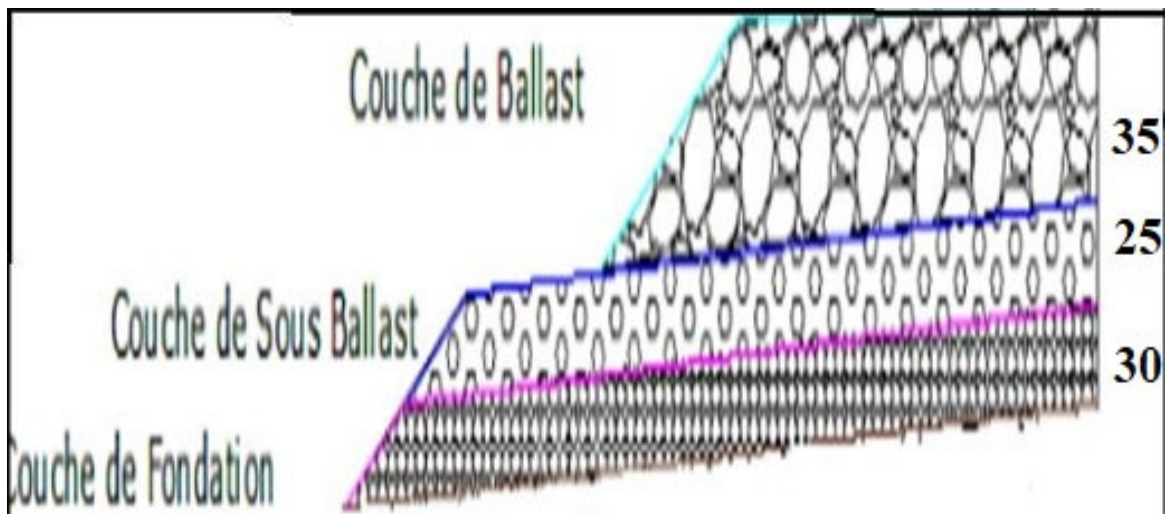
$$e = 0.78\text{m}$$

- **On prend :**

$$\mathbf{E = 0.80m}$$

**Tableau VI.5:** Les épaisseurs des différentes couches

<b>couches</b>	<b>Epaisseur en (cm)</b>
<b>ballast</b>	<b>35</b>
<b>Sous-ballast</b>	<b>25</b>
<b>Couche de fondation</b>	<b>30</b>



**Figure VI.3 :** Les couches de corps d'assise

**4.CONCLUSION**

Le dimensionnement nous a permis de déterminer les épaisseurs des différentes couches qui devant être présentes pour supporter les charges transmises par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de présent dans le fiche UIC 719R.

En ce qui concerne le Terrassement on a calculé les volumes du déblai et remblai nécessaire pour la mise en œuvre de la plateforme.



**CHAPITRE VII**

**OUVRAGE D'ART ET**

**SIGNALIZATION FERROVIER**

### 1.OUVRAGE D'ART

#### 1.1. INTRODUCTION

Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages d'art suivants :

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

#### 1.2. 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**

Elles sont portées, programme de charge gabarit, etc....

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- La voie portée, ou l'obstacle franchi - Programme de charges ;
- Gabarit ;
- Tirait d'eau ;
- Adaptation architecturale à la région ;
- Surjection à respecter pendant la construction.
- **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 :

## CHAPITRE VII : OUVRAGE D'ART ET SIGNALIZATION FERROVIER

- **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 faibles débits
- **Passage inférieur de la route** : rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

### 1.3. DEFINITION ET CATEGORIES 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).

### 1.4. LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET

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

N° d'ouvrage	Obstacles	Les ouvrages	Type d'ouvrage	La portée (m)	Points kilométriques
1	Piste	Pont routier	Portique	15	62+174.5
2	Oued	dalot	Dalot simple c1	18	62+975
3	Piste	Pont routier	Portique	15	63+597

## CHAPITRE VII : OUVRAGE D'ART ET SIGNALIZATION FERROVIER

### 1.5. OUVRAGE D'ART TYPE DALOT

Le dalot, en génie civil, désigne un petit canal recouvert d'une dalle, un élément de caniveau ou un ouvrage hydraulique semi-enterré, sorte de petit aqueduc en maçonnerie placé sous les remblais des routes ou des voies ferrées. Les travaux de terrassements routiers ou ferroviaires au XIXe siècle, bien avant l'essor autoroutier récent, ont généralisé ces équipements permettant l'écoulement des eaux, conçus de façon parfois temporaire, au long des voies.



Figure VII.1 : Travaux ouvrage d'art (type dalot)

#### 1.5.1 Dimensions d'un ouvrage d'art

Tableau VII.2 : Caractéristique technique de l'ouvrage dalot c1

Pk	Pente de pose (m)	Hauteur du remblai (m)	Longueur (m)	(a)	(b)	(c)
62+975	15	1.90	18.00	0.35	0.35	0.45



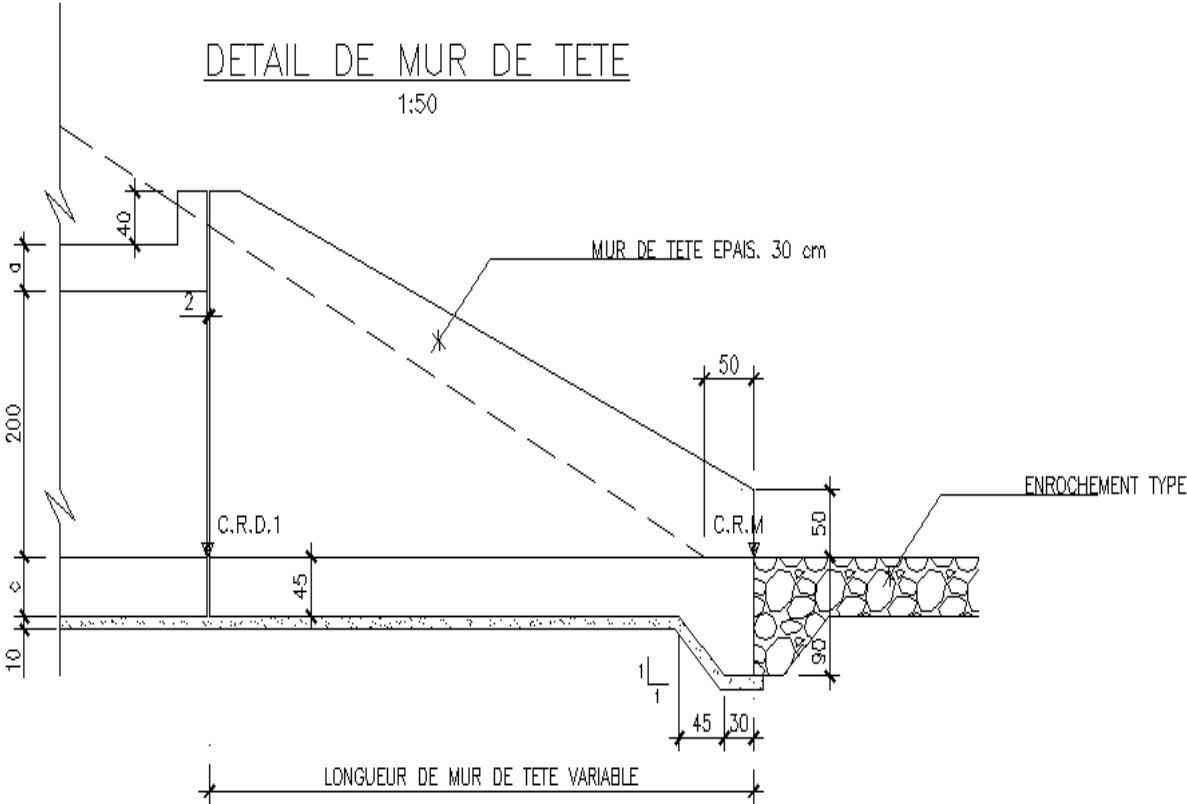


Figure VII.4: Détail de mur de tête





**Figure VII.6:** signaux ferroviaire

### 2.2 ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION

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

- L'espace des circulations pour éviter les rattrapages (cantonement 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).

### 2.3. SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS (ERTMS)

Le système européen de contrôle des trains (en abrégé ETCS, sigle de European 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 de European 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.

#### 2.3.1 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) ;

## CHAPITRE VII : OUVRAGE D'ART ET SIGNALISATION FERROVIER

- ✓ 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.

### \*ETCS niveau 1

En 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. Les balises récupèrent les indications du signal via des adaptateurs de signaux et les transmettent au train sous forme d'une autorisation de mouvement accompagnée des données de l'itinéraire.

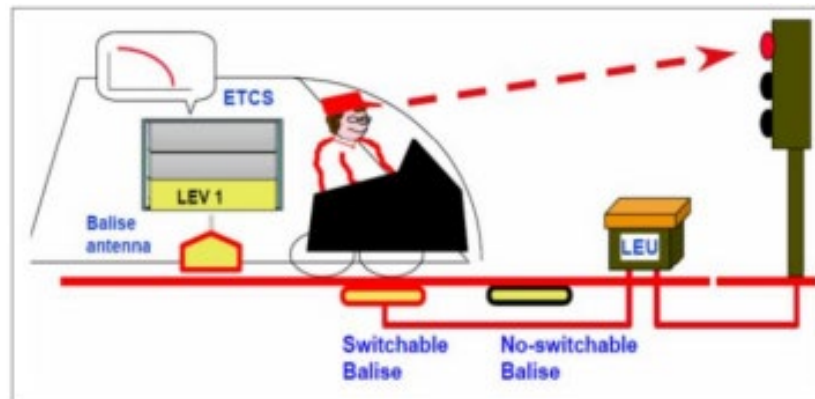


Figure VII.7: ETCS niveau 1

### \*ETCS niveau 2

ETCS niveau 2, est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central RBC (Radio Block Center), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

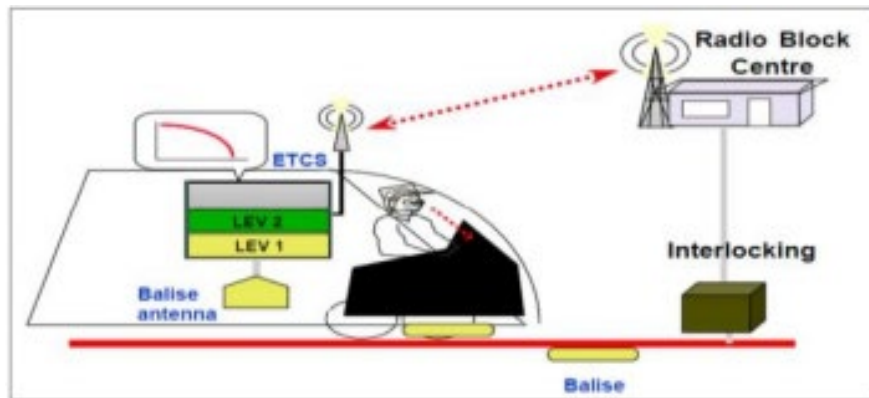


Figure VII.8: ETCS niveau 2

### ETCS niveau 3

L'ETCS Niveau 3 fournit une fonctionnalité d'espacement des trains entièrement basée sur la communication radio. La signalisation latérale ainsi que les équipements de voie ne sont plus nécessaires.

Comme avec l'ETCS niveau 2, les trains se localisent au moyen de balises de positionnement et via des capteurs et doivent être capables de déterminer l'intégrité du train, au niveau du bord, au plus haut degré de fiabilité. De ce fait, l'ETCS Niveau 3 écarte le fonctionnement classique avec des intervalles fixes et permet de calculer la distance de sécurité entre deux trains qui se suivent.

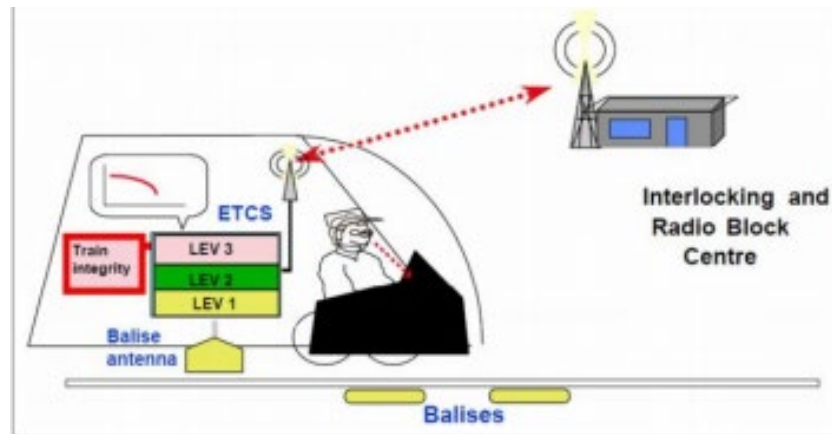





Figure VII.9: ETCS niveau 3

### 2.4. TYPE DE SIGNALISATION




#### 2.4.1. La signalisation d'arrêt

Tableau VII.3: les signalisations d'arrêt

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		Le feu rouge clignotant est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue. Son implantation est à moins de 500m en aval du signal d'arrêt.

### 2.4.2. La Signalisation D'annonce D'arrêt

**Tableau VII.4:** Les signalisations d'avertissement d'arrêt

désignation	Image	Explications
L'avertissement (A)		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt (ou 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.

## CHAPITRE VII : OUVRAGE D'ART ET SIGNALISATION FERROVIER

### 2.4.3 La Signalisation de limitation de vitesse

Tableau VII.5 : Les signalisations de limitation des vitesses

indication	Image	Explications
Limitations permanentes de vitesse signalisée		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 30 km/h		La signalisation comporte un ralentissement 30 (R), présentant deux feux jaunes sur une ligne horizontale, à distance de ralentissement de la pointe du premier aiguillage pris en pointe.
Vitesse égale à 60 km/h		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		implanté à distance de ralentissement du premier aiguillage pris en pointe,

### **3.CONCLUSION**

On peut conclure que dans notre tronçon les ouvrages d'art utilisés sont un seul Dalot et deux Pont routier. Vu que le tracé croise des oueds, Pistes qui nécessiteront l'aménagement pour assurer le drainage des eaux.

Avec l'apparition des outils informatiques de plus en plus performants, 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 GÉNÉRALE

## CONCLUSION GÉNÉRALE

---

Ce projet de fin d'étude a été une grande opportunité pour nous afin de mettre en application des connaissances acquises durant tout notre cursus pour résoudre des problèmes concrets.

Nous avons réalisé un aperçu sur la revue bibliographique qui nous a permis d'élaborer notre tracé et une vue générale de la voie ferrée en Algérie.

Dans L'étude de la liaison ferroviaire reliant la ville de Djelfa à Laghouat sur un tronçon du PK 56 + 000 au PK 63 + 000 sur un linéaire de 7 km nous avons essayé de respecter tous les normes existantes qu'on ne peut pas les négliger et on prend en considération le confort, la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement.

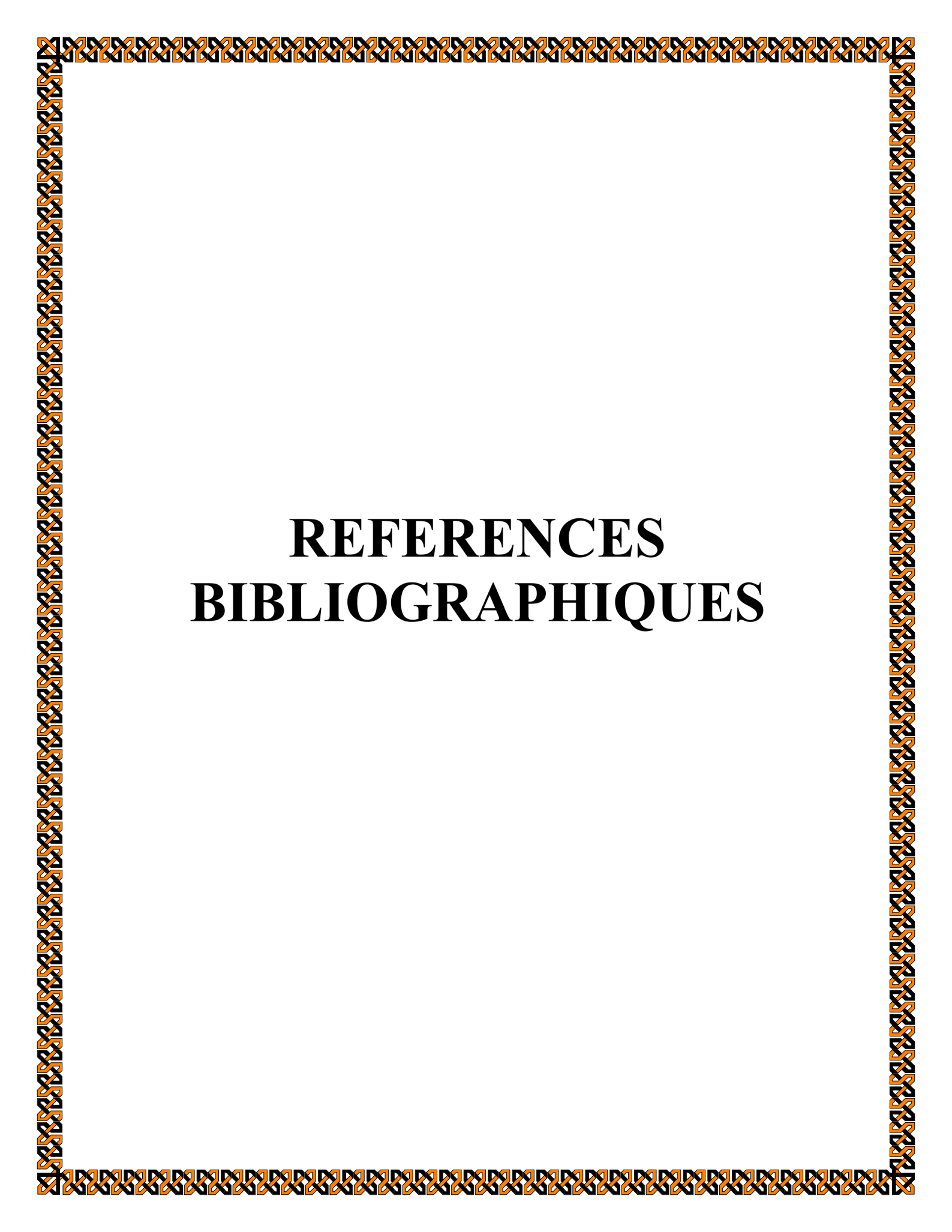
Dans ce travail on a fait un tracé géométrique du tronçon, ensuite on a fait le choix d'un profil en long et un profil en travers économique avec la prise en considération tous les données géotechnique et géologique, on a aussi fait le dimensionnement des rails et l'épaisseur des différentes couches d'assise tout en assurant la stabilité de train qui roule sur cette ligne.

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

De plus, ce travail nous a permis de développer notre côté informatique, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, COVADIS et AUTOPISTE en respectant toutes les recommandations de la SNTF. Le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'environnement ont été pris en compte dans le tracé.

Ce travail est juste une étude d'avant-projet donc d'autres études complémentaires seront nécessaires à son élaboration finale.

Enfin ce projet de fin d'étude nous a aidé à découvrir le métier de l'ingénieur de travaux publics en dehors de l'université et mieux comprendre le milieu professionnel.



# **REFERENCES**

# **BIBLIOGRAPHIQUES**

### 1. REFERENCES TECHNIQUES

- [1] FICHE UIC 719R : Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires (3<sup>ème</sup> édition, Novembre 2003).
- [2] FICHE UIC 703R : Caractéristique géométriques du tracé parcourus par des trains de voyageurs rapides (2<sup>ème</sup> édition janvier 1989).
- [3] Référence technique Chapitre 6 : Géométrie de la voie Version 2, SNTF, 22/12/2005.
- [4] Référence technique Chapitre 9 : Constituants de la voie Version 2, SNTF 22/12/2005.
- [5] Rapport géologique et géotechnique sur le tracé APD la ligne nouvelle à voie unique Djelfa-Laghouat, DESSAU, Octobre 2009.
- [6] ÉTUDE APD DE LA LIGNE NOUVELLE DJELFA-LAGHOUAT Avant-Projet Détaillé Mission C2 RAPPORT : TRACÉ DE VOIE, Avril 2011.
- [7] Avant-projet sommaire Mission B7 Rapport en signalisation & Télécommunication, Mai 2009.
- [8] Avant-projet sommaire –Mission B5 Guide de conception des ouvrages d'art, Juin 2009.
- [9] Cours de chemin de fer Réalisé par Enseignant : A.NEHAOUA (2013-2014).

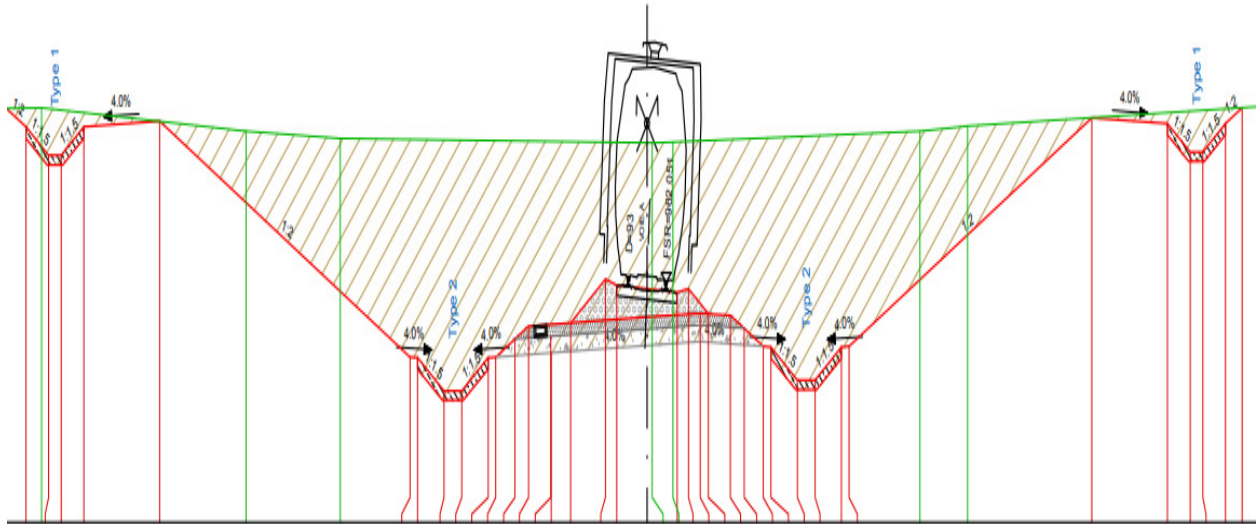
### 2. MEMOIRES ET THESE

- [1] ÉTUDE D'UN TRONCON DE CHEMIN DE FER SUR UNE ZONE INONDABLE DE PK75+000 AU PK 83+000 A LAGHOUAT (CHAHBOUNI RABAH).
- [2] ÉTUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE À VOIE UNIQUE TIARET-SAIDA DU PK108+475 AU PK 123+000 (Présenté par HENNI HICHEM).
- [3] Etude de faisabilité et APS DE la ligne ferroviaire BIRTOUTA-ZERALDA Sur Un Linéaire De 22 Km (HAMZA MOHAMMED LAMINE, LOUNIS JUGURTA).
- [4] Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire voie unique (DJELFA-LAGHOUAT) (Du pk 00+000 au pk 08 +000) Avec L'aménagement de la gare Mixte de DJELFA. (BIDI MILOUD et DJOUAI SALAH EDDINE).
- [5] ETUDE DE LA LIGNE FERROVIAIRE BOUCHEGOUF – EL KHROUB (BARKA ABSAKINE ABDELRASSOUL & MBAINAISSEM SAMBIM DANBE).

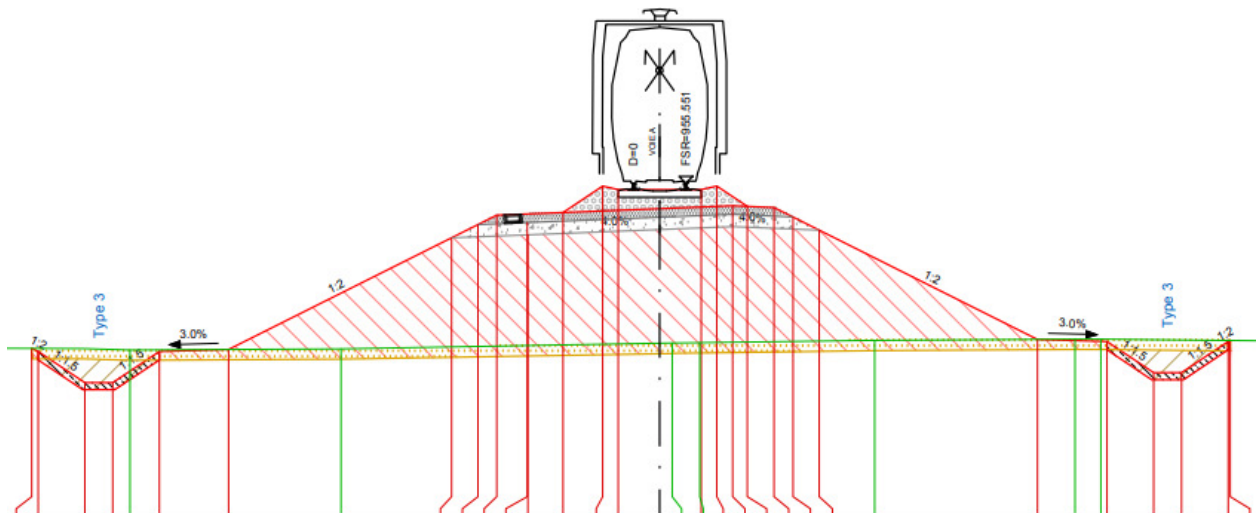
### 3. AUTRES REFERENCES

- [1] André Larané, **NAISSANCE DU CHEMIN DE FER**. Publié ou mis à jour le : 2014-02-24 09 :23 :26
- [2] www. Wikipédia. Com, **Histoire des chemins de fer algériens**, consulté 02/11/2015 à 21h12
- [3] Ammar BENNACER, **INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES EN ALGERIE, DEVELOPPEMENT ET PERSPECTIVES**, midi de l'export beci bruxelles 27 avril 2010
- [4] www.SNTF.dz (2020)
- [5] ISFF ROUIBA, **LA VOIE FERREE tome 1 (2014)**
- [6] ISFF ROUIBA, **LA VOIE-TRACE-DEVERS-RACCORDEMENT (2014)**
- [7] Ulysse Lamalle, **COURS D'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER TOME III**. Fascicule 1 (1951)
- [8] www.ANESRIF.dz

## ANNEXE 1 Profil en travers type (deblai)



## ANNEXE 2 Profil en travers type (Remblai)



### ANNEXE 3 (AXE EN PLAN)

elements	Caractéristiques	Longueur (m)	Abscisse	X	Y
D01	GIS = 29.044g	3354.850	56000.000	502689.433	3779209.723
			59354.850	504167.447	3782221.449
LI	A = 690.000		59561.850	504261.411	3782405.872
	Rf= -2300.000				
	L = 207.000				
			60457.816	504832.236	3783089.110
	XC= 506278.501				
	YC= 3781300.726				
	R = -2300.000				
	L = 895.966	1309.966			
			60664.816	504997.008	3783214.376
D02	GIS = 59.573g	1635.184			
			62300.000	506313.426	3784184.361
	LONGUEUR DE L'AXE	6300.000			

## ANNEXE 4 ( PROFIL EN LONG )

Elément	Caractéristiques Des Eléments	Longueur	Abscisse	Z
			56000.000	914.979
D01	PENTE= 0.185%	2532.647		
PAR1	R = 40000.000		58532.647	919.662
		337.432		
D02		570.437	58870.079	921.710
	PENTE= 1.028 %			
PAR2			59935.670	932.669
	R = 40000.00	252.601		
			75907.79	899.784
D03			60188.271	936.065
	PENTE=1.60%	2111.729		
D04			62300.000	971.119
	LONGUEUR DE L'AXE	6300.000m		

Elément	Caractéristiques Des Eléments	Longueur	Abscisse	Z
			56000.000	914.979
D01	PENTE= 0.185%	2532.647		
PAR1	R = 40000.000		58532.647	919.662
		337.432		
D02		570.437	58870.079	921.710
	PENTE= 1.028 %			
PAR2			59935.670	932.669
	R = 40000.00	252.601		
			75907.79	899.784
D03			60188.271	936.065
	PENTE=1.60%	2111.729		
D04			62300.000	971.119
	LONGUEUR DE L'AXE	6300.000m		